Storm in a Teacup: The Physics of Everyday Life

هيلين تشيرسكي

HELEN CZERSKI

عاصفة في كوب شاي

فيزياء الحياة اليومية

ترجمة

فيصل كريم الظفيري

مراجعة

أ.د. عبدالحميد مظهر

العلوم الطبيعية

عاصفة في كوب شاي
فيزياء الحياة اليومية

تأليف هيلين تشيرسكي

ترجمة فيصل كريم الظفيري

تحويل وتنسيق

د/ حازم مسعود



هذا الكتاب مشارك في مبادرة حروف من نور، وهي مبادرة تطوعية ثقافية طويلة المدى، من مبادرات دار شفق للنشر والتوزيع، ومركز العلمية الوطنية للاستشارات والتدريب (الكويت) لخدمة المجتمع بشراكات استراتيجية مع عدة جهات داخل وخارج دولة الكويت.

تعمل المبادرة على توفير الكتب بصيغة إلكترونية ومطبوعة على طريقة "بريل" لفئة القراء المكفوفين العرب بالمجان، وتوفيرها لهم عبر منافذ متعددة.

إهداء المؤلفة

إلى أبي وأمي
جان وسوزان

مقدمة النسخة العربية

يقدم الكتاب عرضًا لبعض مفاهيم الفيزياء وقوانينها، بقلم أستاذة جامعية متخصصة في أحد فروع علم الفيزياء. والمؤلفة في الكتاب تفسر بعض الظواهر التي قابلتها في بحوثها وتشرحها وتقدمها بلغة إنكليزية يفهمها القارئ العادي في البيئة الثقافية الأنجلوسكسونية، بعيدًا عن اللغة المستعملة في كتب العلم المتخصصة في الفيزياء، باستثناء بعض المصطلحات الفيزيائية التي تحتاج إلى توضيح.

والمؤلفة قدمت موضوعاتها من خلال خبرة عملية وعلمية من تجارب وأبحاث قامت بها، وزيارات للكثير من المواقع في الجبال والأنهار والبحار والمحيطات والمتاحف والمعامل في أمريكا وإنكلترا، فقد ذهبت إلى الولايات المتحدة للقيام بتجارب علمية كثيرة، بالإضافة إلى عملها في بلدها الأصلي بريطانيا. وتستعمل في طرحها للكثير من المسائل اللغة المتداولة في البيئة اللغوية والثقافية التي تعيش فيها، وهذا يمثل إحدى التحديات في الترجمة إلى العربية للظواهر التي كتبت عنها، مع الأخذ في الاعتبار السياق الثقافي التي وردت فيه. أما الموضوعات التي قدمتها فتقع في مجالات الجاذبية والميكانيكا والكهرومغناطيسية والضوء والصوت والذرة والجغرافيا وعالم الأحياء البحرية.

والكتاب يوضح للقارئ العربي كيف يقوم العلماء بأبحاثهم، وأهمية الربط بين الملاحظة والتجريب للتأكد من النتائج التي يتوصل إليها البحث، ويقدّمُ نموذجًا أيضًا للباحث العربي الذي يريد أن يكتب عن نتائج أبحاثه للعامّة من الناس، ويسعى إلى تبسيطها وتفسيرها باستخدام لغة الثقافة السائدة في مجتمعها، في سياق قصص وحوادث من الحياة الواقعية؛ لربط العلم بما يجري في الحياة. والكاتبة لم تلخص في هذا العمل كتبًا سابقة، فهو كتاب يحمل في طيّاته أحد نماذج مجهودات عالمةٍ دَوّنتْ النتائج العلمية التي وصلت إليها، وشرحت من خلال عملها بوصفها باحثة التجارب ونتائج البحوث التي أجْرتْها، وفسّرتْها اعتمادًا على قوانين ومبادئ فيزيائية معروفة.

وقد أفادت ترجمة الكتاب في تأمل قضايا عدة، ومسائل خاصة بترجمة مفاهيم العلم ومصطلحاته في العالم العربي، ومشكلات ترجمة الكتب من لغة غربية ومن سياق ثقافي يختلف عن سياق الثقافة العربية. وأفادت في إلقاء الضوء على أهمية

ترجمة كتب علمية في العالم العربي، ومدى مساعدتها على تعميق الوعي بالعلم، وأهميته للنهوض العلمي والمعرفي، والتأمل والتفكير في بعض مشكلات ترجمة المصطلح العلمي إلى اللغة العربية.

وواجهتنا في ترجمة الكتاب صعوبات في اختيار اللفظ المناسب لبعض المصطلحات الفيزيائية، فللمصطلح خلفية فيزيائية - عادةً- لا يجدها القارئ العربي في اللفظ العربي المترجَم إليه، وهذا يمثل صعوبة للقارئ العربي الذى لم يَعْتَدْ قراءةَ ترجمات لمفاهيم فيزيائية لم يدرسها في تعليمه، فترجمة اللفظ ليست عملية سهلة وقاموسية بالمعنى المباشر.

وتعرض الكاتبة نتائجها البحثية وتفسرها عبر الربط بقوانين الفيزياء ومبادئها، ومن خلال لغة العامّة المتداولة هناك، ومن خلال قصص وأنشطة علمية يعرفها القارئ الغربي. وتواجه عملية ترجمة مثل هذه النصوص صعوبة في نقل المفهوم من سياقه اللغوي في ثقافة أدبية قصصية بمحتوى علمي في ثقافة غربية إلى قارئ عربي يختلف في اللغة والثقافة بالمفهوم الأنثروبولوجي. وعند أخْذِ خلفية القارئ العربي المُوجّه له هذا الكتاب في عين الاعتبار، ربما يكون من المفيد له أن يراجع فهمه لمعنى العلم عامّة، فمعنى العلم السائد عند القارئ العربي المعاصر يختلف عن معناه في المحيط الثقافي العلمي الغربي الذي نترجم منه.

لا بد من دراسة الصعوبات التي تطرحها ترجمة كتب العلم، وترجمة مصطلحاته في العالم العربي، وذلك في محاولة للبحث عن جذورِ أسبابِ قصورِ البحث العلمي في بلداننا العربية، فهل تكمن الأسباب في العقل العربي؟ أم في الثقافة العربية وما تمثله من نسيج يساعد أو يقاوم البحث العلمي؟ أم في اللغة العربية؟ وإجابة هذه الأسئلة تمهد الطريق للتقدم العلمي في العالم العربي. وفي الفقرات الآتية سأعرض باختصار شديد عددًا من المشكلات الأساسية؛ مثل:

١) مشكلات ترجمة مصطلحات العلم إلى لغة الثقافة العربية.

٢) العلم في ثقافتنا وأهمية الاستثمار في البحث العلمي وأهميته للترجمة، وأهمية اضطلاع مؤسسات الدول العربية بالتخطيط والتمويل لجهود الترجمة، والبحث العلمي، ومواكبة حركة التطور الدّلالي العلمي والمصطلحي في اللغة العربية.

٣) ترجمة كتب العلم للقارئ العربي وتأثيرها في رفع مستوى الوعي بالعلم ومفاهيمه.

٤) أهمية الانتقال من ترجمة الكتب العلمية من لغات أجنبية إلى الكتابة العلمية باللغة العربية.

(١)

صعوبات ترجمة المصطلحات العلمية ونقلِها إلى الثقافة العربية

نقل مفاهيم العلم ومصطلحاته بالترجمة من كتب أجنبية يتطلب ألفاظًا مناسبة من اللغة العربية، في سياق لغوي منضبط لنقل المفاهيم ليقرأها القارئ العربي بسهولة، وخبرات العرب قديمة في الترجمة، إلا أنها توقفت منذ مدة طويلة عن التطور لتساير ما جدّ في مجالات العلم. مثلًا: في العصر العباسي وما بعده أظهرت الترجماتُ العربية، التي نقلت إنتاج كلّ من اليونان والهند في الفلسفة والعلوم؛ إبداعَ العرب في الفهم والترجمة واستعمال اللغة العربية في النقل والشرح، وكانت تلك البداية للنهضة الحضارية، وليكمل العرب المسيرة ويخرج منهم فلاسفة وعلماء يضيفون للعلم. أما في العصر الحالي، فالنقل وحده لا يكفي لإكمال مسيرة العلم والمشاركة في إنتاج المعرفة. ولي أن أذكر بعضًا من نماذج المعوّقات التي توضح هذه النقطة:

١) ترجمة المصطلح بفصله عن سياقه العلمي، وكذلك ترجمته باستعمال القواميس العربية؛ لا تكفي، مثلًا: كلمة (adiabatic) التي جاءت في الكتاب، وترجمها بعض المترجمين إلى «ثبات حراري» أو «كظم حراري» بمعنى أنها عملية كَظْم وحَبْس، أي تغير حالة الغاز من دون تبادل الحرارة مع المحيط، أو ترجمتها إلى «التغير الذاتي لحرارة الغاز نتيجة تغير أحد بارامتراته»، والمقصود به ازدياد سخونة درجة حرارة الجسم من دون اكتسابه حرارة من الخارج، وعكسه التبرد. ومن نافلة القول إن كلمة واحدة أو مصطلحًا بلغته الأصلية تحتاج ترجمته عبارات أو جملة وليس لفظًا أو مفردة، والمشكلة التي نقابلها في ترجمة هذه الكلمة سنجدها في مصطلحات أخرى أيضًا. إن المصطلح السابق ناتج عن تعريف يسبقه تعاريف أخرى، مثل منظومة مفتوحة أو مغلقة، وعدم انتقال الطاقة الحرارية من خلال جدار المنظومة المغلقة، وهذا يمكن أن يؤدي إلى زيادة للحرارة داخل المنظومة أو نقصانها اعتمادًا على شروط مضافة، فلا تنتقل الطاقة الحرارية من المنظومة المغلقة إلى محيط المنظومة من خلال الجدار. وهذا محض نموذج من تعقيد نقل المصطلح باستعمال كلمة وفصلها عن السياق العلمي الذي ظهرت فيه.

٢) الفجوة الزمانية الكبيرة وانقطاع تطور العلوم الفيزيائية في العالم العربي مقارنةً بما حدث في الغرب. وتطور العلم وطرقه ونظرياته يحتاج مسايرة إيجابية في الثقافة العربية المعاصرة، ولغة تتضمن معنًى مماثلًا للعلم والمفاهيم المتصلة به، وتطوير ألفاظ قديمة أو استحداث ألفاظ جديدة لتؤدي مهمة نقل المفاهيم العلمية.
٣) عند استعمال لفظ مناسب للترجمة فإنه يحمل حمولة معرفية لا توجد في اللفظ الأصلي. مثال: ترجمة كلمة (Atom)، إذ نجد عند الترجمة القديمة في العصر العباسي لفلسفة ديمقريطس أنه تم اختيار كلمة «الجوهر الفرد» لترجمتها، ولم تسبب مشكلة في المعنى المنقول لأنها كانت في نطاق الفلسفة التي لم تصل بعد إلى دقة العلم في العصر الحالي، ولكن العلم الفيزيائي ومفاهيمه تطورا إلى حد بعيد، وفي عصرنا الحالي استخدمت الكلمة القرآنية «ذرة» لترجمة الكتب العلمية، وما تحمله من نتائج لبحوث علماء من أمثال فارادي وآخرين ظهروا بعده في القرون (الثامن عشر، والتاسع عشر، والعشرين). فأضافوا الكثير حول تركيب الذرة والنظريات الذرية، واستخدمت كلمة الذرة بعد ذلك في الترجمات العربية، وقد أصبحت كلمة الذرة المأخوذة من القرآن تحمل معنىً معرفيًا لم يكن موجودًا في الأصل العربي، إذ إن كلمة ذرة تعني أصغر عنصر في الكون، أما الذرة في المفهوم الفيزيائي الحديث فلها معانٍ زائدةٌ عن تركيب الذرة وطاقة مداراتها و...، وأصبح الكثير ممن يقرؤون القرآن ويجدون كلمة ذرة يتصورون أن الكلمة القرآنية تعني الذرة في المفهوم الفيزيائي من نواة وبروتونات وإليكترونات ومدارات، وكأن المعنى الأصلي كما جاء في الوحي يتضمن هذا المعنى، و تطوع البعض اعتمادًا على ذلك وقالوا بسبق آيات القرآن في اكتشاف النظرية الذرية اعتمادًا على كلمة «ذرة».
٤) عادةً ما تُترجم كتب العلم أو غالبيتها للعامة، وليس للمتخصص أو لمساقات جامعية، مثل ما حدث في سوريا في كليات الطب أو معاهد الهندسة. والترجمة للعامة تختلف عن الترجمة لمتخصص من حيث محاولة الدقة في نقل المفاهيم، فالعاميّ فهمه عام ولا يهتم بالتفاصيل أو شروط تطبيق المصطلح العلمي، أما المتخصص لو كان هدفه تطوير البحث العلمي باستعمال اللغة العربية فلا بد من التدقيق في استعمال ألفاظ العربية. في العصر الحالي لا تستعمل الجامعات العربية كتبًا مكتوبة باللغة العربية، بل تعتمد على مراجع باللغة الإنكليزية في المساقات أو المقررات العلمية في كليات العلوم والطب والهندسة. وبالتالي يسهُل على

المتخصص قراءة الأصل الأجنبي، في حين تصبح القراءة من كتب مترجمة عبئًا على الفهم. ومن هنا يمكن إدراك مقدار ابتعاد كثيرٍ ممن يناقشون قضايا العلم والإعجاز العلمي عن العلم ومفاهيمه؛ بسبب اعتمادهم على كتب علمية مترجمة للعامّة.

٥) في هذا المحيط الثقافي السائد، تجلّت الصعوبة في وجود اللفظ العربي الملائم ليحمل المفاهيم الفيزيائية المعاصرة، ومن أمثلة ذلك الكلمات الآتية:

Slosh, lattice, grid network, globe, world, earth, speed, velocity, power, energy, force, field, domain, equilibrium, balance, stability, time scales, enthalpy, entropy , adiabatic, vortex, eddy, steam, gas, vapor, boundary layer, ice, snow, sleet, theory, theorem, laws, principles, postulate, hypothesis, mantl ………….etc.

ولذلك، تحتاج ترجمة مصطلحات العلم جهودًا إبداعية، واهتمامًا من مؤسسات الدول العربي، ومجهودات كبرى كثيرة، ولا يكفيها عمل أفراد يتمتعون بمواهب لغوية، بل تحتاج إلى عمل جماعي متكامل. لا بد كحد أدنى للحصول على ترجمة علمية مقبولة من مترجم يتقن اللغة العربية، ويرافقه متخصص في فرع العلم المراد ترجمته، ليراجع انضباط المفاهيم العلمية مع اللفظ العربي. وهذه مسيرة تتطلب رؤيةً وتخطيطًا وعملًا وصبرًا ومثابرة، وتحتاج كذلك زمنًا وتواصلًا مستمرًا بين العلماء واللغويين العرب. يضاف إلى ذلك مراجعة الطرق المستعملة في ابتكار الألفاظ المناسبة مثل الاشتقاق والنقحرة، أو تبني الحل الأسهل باستعمال الكلمة الأجنبية كما هي؛ مثل: تلفزيون، راديو، إليكترونات، بروتونات، نانو، رادار، ...إلخ.

(٢)

العلم في ثقافتنا المعاصرة

هذه الفقرة تعالج باختصار شديد مسألة مسيرة العلم في العالم العربي وتوقفها، وعلاقة العلم بالثقافة العلمية السائدة واللغة العربية، والعقل العلمي العربي، وأهمية الترجمة المنضبطة في إيقاظ الوعي بمفهوم العلم المعاصر.

توقفت مسيرة العلم في الثقافة العربية منذ قرون، وفي أثنائها تطور العلم في الغرب وقفز قفزات كبرى لم يكن لثمرات الكثير منها جذور في الحضارة العربية

الإسلامية. إذ مضى عمرٌ زمني طويل لم تقدم فيه الحضارة العربية الإسلامية إنتاجًا علميًا جديدًا ومفاهيم جديدة، وما يصاحب ذلك من ابتكار وإبداع لغوي، واكتفى الناس بتكرار ما جاء في الكتب القديمة، وأغلبها لها اتجاهات وأساليب فلسفية اختلفت عن اتجاه العلم ومنهجه بعد انفصاله عن الفلسفة. ولذلك فإن مفهوم العلم والعقل العلمي في الثقافة العربية توقف عند فهم عقول العرب قديمًا للعلم في العصور السابقة، واعتماده على المنهج الاستنباطي من نصوص منقولة أو مترجمة أو كتبها علماء عرب قديمًا، فالعقل في تلك الفترة الزمانية تخصص في أساليب العقل الفقهي الذي أبدع في الاستنتاج من النصوص، ولم يهتم بالتطور الذي حدث بعد ذلك لدراسة ظواهر الطبيعة بالاستقراء والتجريب بعد انفصال العلم عن الفلسفة. وقد تأثرت الثقافة السائدة بالعقل الفقهي الاستنباطي مع استثناءات عند ابن الهيثم، وجابر بن حيان، وابن سينا، والزهراوي، وقليل من العلماء مثلهم، ممن استعملوا مبادئ الاستقراء من الطبيعة، وعدم الاكتفاء بالاستنباط من النص.

لقد تطور مفهوم العلم لدراسة الواقع بتعميق وقياس وتكميم الملاحظة ودقتها، والاستعمال الكمي والمعادلات الرياضية في الوصف، واستعمال منهج الفرضية القائم على الاستنتاج ثم التجريب والتحقق والتعديل في عمليةٍ مستمرةٍ قوامها المراجعة والتصحيح. أدى كل هذا إلى تطورات كبيرة في معاني التنظير والنظرية، لتقترب كثيرًا مما يمكن ملاحظته من ظواهر خارج عقل الإنسان، وانقسمت الظواهر إلى ظواهر ماكروية وظواهر ميكروية، وأصبح العلم منهجًا وعمليات، وليس حفظَ نتائج وتكرارَ قوانين ونظريات لا تتغير.

و السؤال الذي يفرض نفسه في ظل تلك الظروف المعاصرة هو: كيف يستطيع العرب جسر هذه الفجوة الكبيرة في العلم وأبحاثه وتطبيق منهجه بأنفسهم على مشكلات علمية يرونها هم ولا ينقلونها من الغرب؟ فنقل العلم أو استيراد التكنولوجيا لا يكفي للتقدم والنهوض وتقديم الجديد من كسب خبرات علمية حقيقية من خلال البحث العلمي وإجادة منهجه بالتدريب و الممارسة. وإن كانت الترجمة هي البداية، إلا أنها لا تكفي لنهوض أمة كبيرة مثل الأمة العربية.

والعلم يصاحبه لغة ومصطلحات، ومع تطور مسيرة العلم في الغرب، ظهرت كلمات ومصطلحات جديدة لشرح مفاهيم جديدة، وفي الوقت نفسه تجمد البحث العلمي في العالم العربي وتوقفت اللغة العربية عن التطور الملائم لترجمة مصطلحات العلم الناشئ، وذلك بالرغم من ثراء اللغة العربية في الألفاظ (انظر

الثعالبي في كتابه فقه اللغة وأسرار العربية، وكتاب الفروق للعسكري، والحروف للرماني، وغيرها) التي ساعدت كثيرًا في وضع مصطلحات استُعملت في التأليف العلمي باللغة العربية، أو في ترجمات العلوم المنقولة منذ العصر العباسي، كما يمكن التأكد من ذلك بقراءة الكثير من الكتب العربية القديمة؛ مثل كتاب الحيوان للجاحظ، أو حياة الحيوان للدميري، أو المناظر للحسن بن الهيثم، أو في علم الجبر والمقابلة للخوارزمي، أو في بحوث عمر الخيام في حل المعادلات من الدرجة الثالثة، أو مصطلحات الصيدلة والكيمياء عن جابر بن حيان، ومصطلحات الطب عند ابن سينا وابن النفيس، أو ما جاء به ابن بيطار في علم النبات، أو الزهراوي في الطب، أضف إلى ذلك كتب البيروني والخازن. ورغم جهودهم كذلك في الجغرافيا (الإدريسي)، والفلك (ابن الجذري و البتاتي وغيرهم)، إلا أنهم توقفوا عند النتائج التي وصل إليها الفلك البطليموسي، ورَكَنوا إلى أن الأرض هي مركز الكون، ولو استمروا وأكملوا ما قدمه أبو إسحق البطروجي أو نصر الدين الطوسي، لأمكنهم الوصول إلى ما قام به تيخو براهي أو كوبرنيكوس وكبلر وجاليليو. فمسيرة العلم لا تتوقف ولا تعتمد على جنسيات محددة.

وتوقف مسيرة العلم وبحث ظواهره لم يرافقه تطور وتحديث لألفاظ اللغة، أو استعمالات المعروف منها للجديد من مفاهيم العلم، كما حدث منذ عصر الترجمات في العصر العباسي. وبعد مرور قرون على تلك الأنشطة العلمية في عصرنا الحالي، نجد أن ترجمة الكثير من مصطلحات العلم تواجهها صعوبات جمة، وقد قامت الدولة السورية بمجهودات جبّارة في هذا الصدد وعرّبت علوم الطب والفيزياء والهندسة، ولم تشاركها بلدان عربية أخرى لتوطيد المصطلحات وانتشارها في العالم العربي. والمؤسف أنّها توقفت بعد ذلك.

التقدم العلمي يتبعه تقدم في مستويات أخرى في المجتمعات، في الثقافة والسياسة والاقتصاد والاجتماع وتسيير شؤون الحياة والناس، فتقدم العلم والمعارف العلمية لا يحدث من فراغ ولا ينفصل عن السياق الاقتصادي والاجتماعي والسياسي والديني السائد في بلد ما وزمن ما، وقد تطور مفهوم العلم منذ القرن الثامن عشر حتى العصر الراهن، وهذا يطرح السؤال الآتي: ما العلم؟

في الثقافة المعاصرة يختلط مفهوم العلم بمفهوم المعرفة، والسائد أن العلم حفظ معارف ومعلومات وقصص ونظريات وأحكام وتواريخ وتفاسير وشروح نصوص وقوانين، وحفظ نتائج العلم كما نُشرت في أماكن كثيرة. وطغت الثقافة

الأدبية وثقافة تفسير النصوص والاستنباط من العبارات اللغوية، وحب نقل القصص والأقوال، حتى أصبح هذا المفهوم الثقافي هو ما يحدد معنى العلم، وهو في عصرنا ما يناظر كلمة «معارف». وأصبح العلمُ بوصفه منهجًا لملاحظة العالَم وقياس ظواهره ودراسة الظواهر غير الموجودة في كتب سابقة؛ مفهومًا غير منتشر. ولم يدرك الكثير من العامة أن كتب العلم تعكس نتائج عمل علمي يدرس الواقع الخارجي عن طريق منهج علمي يُطبّق في أبحاث، ولا يمثل نهاية العلم، بل هو مجهود مستمر، ومَن أراد أن يكمل فعليه أن يقرأ ما سبق ليراجعه ويتحقق منه ويصحح أخطاءه، ثم يضيف إليه. إن ما ينشر من كتب علمية يحاول أن يخبر القارئ أن ما في الكتاب هو ما توصل إليه العلم، وربما يتغير، لذا فهو ليس المنتج النهائي للعلوم، وليس للحفظ والتكرار.

العلم لا يكفيه أن نقرأ كتبه ونسترجع ما فيها من معلومات ونظريات، لنكتب بعد ذلك فيه بالتلخيص والاستنباط والاستنتاج، وإعادة تدوير ما قرأناه، بل إن العلم هو ممارسة للمنهج العلمي وتعويد العقل على التفكير بمنهج العلم، والكتابة بأسلوب علمي واختيار الألفاظ المناسبة، وعرض نتائج ونظريات وقوانين مع التأكيد على الشروط التي وضعها الباحث العلمي للتأكد مما نشر.

أصبح العلم عمل فرق جماعية تستفيد من العبقريات الفردية لتكمل المسيرة، والعلم حاليًا يحتاج أموالًا وميزانيات وتفرغًا، وأن تقوم به مؤسسات وجامعات ومراكز بحثية. وهذا يختلف كثيرًا عن عمل العلم وممارسته قديمًا. العلم يبحث في مشكلات حقيقية، أو تطوير نظريات قديمة، أو تطلعات لأفكار علمية غير مألوفة، وانطلاق في فضاء الفكر حول تصورات ممكنة مستقبلية، وكيف ندرسها.

العلم يحاول أن يؤسس لمعنى الموضوعية؛ وهي أن نتائجه ونظرياته يمكن التأكد منها بتكرار التجارب في أي بقعة من العالم، بغض النظر عن عرق الباحث أو جنسيته أو لون بشرته. ومهما كان العمل الذي قام به الباحث العلمي، فلا بد من تكراره في مكان آخر وبوساطة علماء آخرين، وهذه هي الموضوعية التي يسعى إليها منهج العلم المعاصر.

في العالم العربي يقرأ العامّة الكتب وكأن ما ورد فيها هو المنتج النهائي للعلم، وعليهم حفظه من دون الاهتمام بعمليات إنتاج المعرفة والجهود الكبيرة والأخطاء والتصحيحات التي قام بها العلماء قبل كتابتهم ما توصلوا إليه في كتبهم. وبعبارة أخرى: مفهوم العلم المعاصر ليس شيئًا منجزًا، تَمّ ووُلد واكتمل ليُحفظ ويُعاد

ويُكرر، بل لا بد من إدراك أن العلم إنما يتضمن عمليات ومنهج تفكير ومراجعات ربما تغيّر النتائج أو تعدّل القوانين، وهذا يعكس الجو الثقافي العام في العالم العربي الذي يتصور أن العلم مثل كتب التراث الثقافي والأدب والشعر والقصص التي درسوها، وكأنها إنجازات تحققت وما عليهم إلا حفظها. أما مفهوم البحث العلمي، فمشكلته عدم شيوع ثقافته في البيئة العربية المعاصرة من خلال تأمل ما ينشر من بحوث في البلاد العربية.

وللنهوض بالعلم من أجل التقدم لابد من رؤية استراتيجية تعتنقها الدولة وتعمل عليها مؤسساتها، لتغيير الثقافة السائدة بخصوص العلم وتعريفه ومفاهيمه وبحوثه، وتطوير اللغة العربية، لكن السائد حاليًا هو عدم وجود رؤية للدول العربية عن العلم، وتنتهي الأمور بجهود فردية مشتتة، لا يوحّدها هدف عام بخصوص الترجمة العلمية، والأفراد يعملون بجهود ذاتية وربما هم غير متفرغين، ويحتاجون مساندة مالية من مؤسسات الدولة، أو الحكومات التي يجب عليها أن تخصص ميزانية للبحث و التطوير.

الرؤية المستقبلية تتضمن تغيير مفهوم العلم، وتغيير مفهوم البحث العلمي، وتطوير أساليب الكتابة العلمية، وتطوير المؤسسات العلمية من مدارس وجامعات لتؤدي هذه المهمات. وتتطور المناهج في نظم التعليم في المدارس والجامعات، لتؤكد مفاهيم التجريب والقياس والمعايرة والتصحيح والتعديل، ولا بد أن يصاحب ذلك تطوير ألفاظ اللغة العربية لتُكتب بها نتائج البحوث العلمية، والبحث عن الألفاظ المناسبة في أصول لغوية سابقة لتفيد في ابتكار ألفاظ تناسب المصطلح العلمي المعاصر. ولا بد من إسهام مؤسسات الدولة في الصرف المالي على علماء متفرغين للبحث، وتحديث المعامل والأجهزة لتطبيق مفاهيم التحقق والسلامة والتكذيب والتجريب والموضوعية.

(٣)

أهمية ترجمة كتب العلم

منذ زمن طويل كنت أدرّس علم الاهتزازات الميكانيكية في كلية الهندسة، والمراجع التي استعملتها كانت باللغة الإنكليزية، وقد وجدت في السوق كتابًا له العنوان نفسه، ولكنه مترجم إلى اللغة العربية (ترجمة الأستاذ الدكتور أسامة أمين الخولي؛ الأستاذ بقسم هندسة الطيران والفضاء بجامعة القاهرة). والكتاب المترجم ليس من الكتب المتخصصة في هذا الفرع من العلم، ولكنه من كتب الثقافة العامة.

وقد حاولتُ قراءة الكتاب غير أنني وجدت صعوبة في استيعاب المفاهيم العلمية والقوانين الخاصة بهذا الفرع من علوم الهندسة. وفي ذاك الوقت سألت نفسي: هل ترجمة الكتب العلمية مفيدة في التدريس، أم أن المراجع الأجنبية ستظل هي الأساس فيها؟

تطرح تلك المسألة أهمية ترجمة الكتب العلمية في مجالات الفيزياء والكيمياء والفلك والعلوم الهندسية والفضاء والرياضيات والجيولوجيا والبيولوجيا والوراثة، وغيرها. وهل تفيد الترجمة في تدريس المساقات العلمية في المدارس والجامعات؟ وهل يمكن أن تؤهلنا للسباق في البحث العلمي وتطور العلم وتطبيقاته في بلادنا العربية؟ وإذا كان هذا ممكنًا، فكم يأخذ ذلك من وقت ومجهود وصرف مالي وعمل مؤسسي من الدول والمترجمين حتى يُنْجَز؟

فترجمة كتب العلم للقارئ العربي وتأثيرها في رفع الوعي بالعلم ومفاهيمه تقتضي التأسيس العلمي لطلاب المدارس والجامعات، من خلال تغيير في أساليب العملية التعليمية، أما المقررات فيمكن أن تكون مترجمة أو أن تُكتب بلغة عربية من قِبَل مؤلفين أصحاب تخصص وخبرة بالعلم واللغة العربية. والترجمة تحتاج إنفاقًا ماليًا عليها، ومجهودًا كبيرًا لوضع اللغة العربية في مكانها اللائق. ومن الاستحالة أن يتأتى هذا العمل في عصرنا عبر العمل الفردي، بل لابد من اهتمام من مؤسسات الدولة ووضع ميزانيات واختيار كفاءات ومواهب للقيام بذلك، وهذا أول الطريق، ويمهد للإجابة عن السؤال: هل ترجمة الكتب العلمية مفيدة، وهل تسهم في تقدم العلم وأبحاثه في العالم العربي؟

(٤)

بين الكتابة العلمية باللغة العربية والترجمة العربية أو التعريب لكتب العلم

تأتي بعد المرحلة الأولى من ترجمة كتب العلم، أو ربما تعمل معها بالتوازي؛ الكتابة العلمية للعلم بلغة عربية. وأهمية الكتابة العلمية باللغة العربية من حيث أسلوب الكتابة في اللغة العربية تختلف عن نظيرتها في اللغة الإنكليزية، فالمؤلف له الحرية بكتابة ما في عقله بطريقة مختلفة عن الترجمة، والتعامل مع العلم مباشرة من دون الالتزام بأساليب الكتب المترجمة، واختيارات المؤلف وحريته ولغته في التعبير وسهولة إيصالها إلى القارئ العربي؛ يسهل كثيرًا زيادة دافع القارئ العربي لقراءة كتب علمية مكتوبة بلغته.

الكتابة العربية تساعد كثيرًا في تخطي صعوبات عدة، فالترجمة العلمية تحتاج خلفيات في العلم، وترجمة المصطلحات العلمية غير متوفرة عند كثير من المترجمين، وبذلك تفتقر بعض الترجمات لصحة نقل مفاهيم العلم من الأصل الإنكليزي. والمقترح أن يترجم الكتب العلمية من له خلفية جيدة في الترجمة واللغة، وأن يكون معه مُراجع له خبرة علمية مناسبة لموضوع الترجمة للاطمئنان لسلامة ترجمة مفاهيم العلم ومصطلحاته. أما الكتابة فيمكن أن تتم بقلم مؤلف واحد أو عدة مؤلفين عرب في موضوعات مختلفة في كتاب واحد.

أما من حيث الكتابة، فكتابة الفقرات في العربية تختلف عن الإنكليزية، وأسلوب الصياغة العربية لا يتسق مع صياغة العبارات الإنكليزية، وبالتالي ترجمتها كما هي قد يسبّب عدم راحة للقارئ العربي، ولابد من إعادة الصياغة حتى تكون أقرب للمَسَاق اللغوي للقارئ العربي. أما ترجمة بعض مسائل العلم من خلال الأمور الحياتية والعادات الغربية في سياق الترجمة، مثل ما جاء في الكتاب، فربما لا يستوعبها أو لا يتقبلها القارئ العربي.

وربما عدم وجود مقابل عربي للمجاز في اللغة الإنكليزية أيضًا، يجعل نقل المقصود في الكتاب الأصلي صعبًا. ويمكن تخطي ذلك بإدراك أن العادات الثقافية في الكتابة مختلفة بين الغرب والعالم العربي. الثقافة السائدة في العالم العربي تغلب عليها ثقافة اللغة والأدب والدين، وكثير من أدوات الثقافة الغربية ومصطلحاتها ومفاهيمها غير منتشر في الوطن العربي، لذلك فأغلب الكتابات العربية تفكر من خلال الثقافة العربية. كتب العلم في الثقافة الغربية تعودت أن تكتب العلم للإنسان العاميّ ليفهم العلم بلغته المتداولة، ولتدفعه نحو قراءة كتب العلم، لذا ظهرت لديهم كتابات كثيرة عن العلم للعامة مقارنةً بوجودها في العالم العربي. ناهيك من أن كثيرًا من الكتب العلمية في العالم العربي مترجمة من لغات أخرى، لذلك ستكون الكتابة العلمية باللغة العربية ذات أثر مختلف عن الكتاب المترجم، وجذّاب للقارئ العربي.

أ.د. عبد الحميد قاسم مظهر

أتلانتا، جورجيا – الثالث من مايو/أيار ٢٠١٩

كلمة المترجم

نقدم في هذا الكتاب «عاصفة في كوب شاي»، أو حسب العبارة المتداولة «زوبعة في فنجان»، رحلة مثيرة ومتنوعة، وربما مضطربة وهائجة كذلك. تبحر بنا عالمة الفيزياء الدكتورة هيلين تشيرسكي عبر عوالم ومشاهدات وتجارب تحركها وتهيمن عليها قوانين الفيزياء ومبادئها، وتسرد للقارئ كيفية تأثير ذلك في حياة البشر جميعًا. وهذه الرحلة -على مشقتها- ماتعة، إذ تصل بنا إلى بر الأمان لنرسو على شاطئ تتجلى فيه الحكمة من خوض هذه «المغامرات الفيزيائية»، إن صح التعبير، وذلك في الفصل الأخير من الكتاب والمتمثلة بثلاثة أنظمة أساسية لحفظ الحياة؛ الإنسان والأرض والحضارة. ولعل استعراض تفصيلات كل نظام من هذه الأنظمة الثلاثة يلخص الفكرة العميقة للكتاب بأسلوب ينحو إلى التكامل والترابط التدريجي الذي يلتقطه القارئ الواعي والطامح إلى معرفة أسرار قد تخفى على كثيرين، لكنها لا تنفك عن جعل الطبيعة والحياة البشرية مستمرة بلا انقطاع.

من جهة أخرى، تتجلى صعوبة نقل هذه الأفكار والمفاهيم العلمية الحديثة من لغة إلى لغة في هذا العمل، ويظهر أن المعاجم والقواميس العربية المتوفرة حاليًا لا تفي عملية الترجمة إلى العربية حقها من الصحة وضبط المصطلحات العلمية ومسمياتها ومفاهيمها، وجعلها قادرة على مقابلة المصطلحات بلغتها الأجنبية مقابلةً تتسم بالدقة والمقاربة الممكنة. لذا يتطلب مثل هذا الجهد رقابة واعية من عين خبير متخصص بمعظم الحقول التي يتطرق لها هذا الكتاب، وهو ما تكفّل به مشكورًا الأستاذ الفاضل البروفيسور عبد الحميد قاسم مظهر، الذي فضلًا عما يتمتع به من حس لغوي مميز وإدراك لمشكلات الفارق الترجمي بين اللغات، فهو كذلك عالم صارم لا يقبل المساومة أو أنصاف الحلول في المسائل العلمية، ويسعى إلى نقل المعلومة المعقدة بأيسر السبل المتاحة وأسهلها، لذلك كل ترجمة لعمل علمي لا بد له من خبير يحكم فيه. لكن هذا يمثل الوجه الأول من العملة فقط.

إن الترجمة – كما هو معلوم في أوساط أهلها وممارسيها- علم وفن معًا، وهي ترتكز في مهمتها على اللغات (بدءًا من لغتين فأكثر) التي تُنقل ما بينها المفردات والكلام والعبارات والجمل والكم الهائل من المعلومات، ومن هنا تبرز الحاجة إلى من يجيد بناء الجسر الواصل بين ضفاف الثقافات، وينقل ما يحمله على أكتافه من تلك المعلومات التي يُفترض أن لها قيمة تثري حياة الإنسان المتلقي عند نقلها.

إذن: ينتج من خلال ذلك عاملان أساسيان؛ اللغة والعلم (الذي هو حصيلة تلك المعلومات)، وهما مترابطان ومتداخلان عند الاضطلاع بمهمة الترجمة، وكذا يشكلان قاعدة الانطلاق منها، وهنا مكمن اللبس وسوء الفهم. المترجم ليس بالضرورة عالمًا وكذلك العالم ليس بالضرورة مترجمًا، إذا كانت الترجمة علمًا فلا بد أن يتقن أساسياتها ومبادئها وجوهرها كل من يريد استخدامها والإفادة منها، ومن أهم ما اتفق عليه أهل الترجمة أنه «ليس كل من أتقن لغتين أمسى مترجمًا». فندرك بناء على هذه القاعدة أن العالِم والمختص في مجاله قد لا يُوفّق في مهمة الترجمة توفيقًا تامًا، فمع تمتعه بالمعرفة الكافية في اختصاصه، لكنه سرعان ما يدرك أنه قد وقع في خضم علم ومجال آخر، وبالتالي تحدث الورطة ويقع الحرج. والسبب الأبرز في ذلك حيوية الترجمة وتباين وضعها بين صفتي العلم والفن، وهو ما يلقي بظلاله على إشكالية وجود تعريف مانع وجامع للترجمة، وهو موضوع يطول شرحه ولا تكفيه هذه المساحة المحدودة، لكن الظاهرة الجلية هنا تفيد باحتياج العالِم للمترجم، والمترجم للعالم. فهما يشكلان القدمين اللتين تقوم عليهما أية عملية ترجمة ناجحة، لا سيما الترجمة العلمية. وللأسف الشديد، لاحظنا فيما سبق عدم اكتراث بهذا المبدأ الأساسي، مما أدى إلى وقوع حرج بالغ لبعض العلماء الذين مارسوا الترجمة، أو لبعض المترجمين الذين خاضوا في العلم، من دون إدراك لضرورة التكامل بين الاثنين. ومما يؤسف له أيضًا أن جهات ثقافية رسمية تشترط «الاختصاص» في ترجمة علم من العلوم أو أحد فروعه، وقد تسبب هذا التوجه غير المدروس وغير الواعي بأصول العلم والترجمة معًا بأخطاء ترجمية غريبة، سواء أكانت من عالم «مختص» أم من مترجم أقحم نفسه في غير مجاله.

بطبيعة الحال، ثمة أنواع معرفية مختلفة تتدرج حساسية نقلها وترجمتها حسب الاصطلاحات والمسميات التخصصية الدقيقة التي تغطيها، فهناك نصوص عامة قابلة للترجمة والنقل على يد المترجم، وإن تطلب ذلك أيضًا إتقانًا وإلمامًا جيدًا منه فيها. فعندما نترجم من «التاريخ» مثلًا يجب أن يدرك المترجم المفاهيم والأعلام والمصطلحات التاريخية والعقائدية والثقافية، وحتى الاقتصادية المؤثرة في النص. كما أن الترجمة من الأدب والشعر والنثر تقتضي فهمًا للأساليب الجمالية النصية، بالإضافة إلى الحس الأدبي والشاعري عند التعامل مع مثل تلك النصوص. ومعظم هذه الحالات تندرج في إطار الترجمة العامة أو التي يستطيع

المترجم الجيد التعامل معها بشرط الالتزام بقواعد تلك المجالات وفهمها بإتقان كاف. أما الترجمة من العلوم فهي باعتقادي مسألة مختلفة شيئًا ما. الترجمة على وجه العموم عمل جماعي في جوهره، واللافت أن ثمة علاقة طردية بين عملية الترجمة من ناحية، وصحتها ودقتها في حالة الاضطلاع بها فرديًا أو جماعيًا من ناحية أخرى، فكلما كانت الترجمة جماعية (حسب جودة الأداء الجماعي وتنسيقه) ظهر ناتج ترجمي تقل فيه نسبة الأخطاء كثيرًا، وقد تنعدم، والعكس صحيح. غير أن الترجمة من وإلى العلوم تصل بها درجة الحاجة في العمل الجماعي (بين المترجم والمختص) إلى المستويات القصوى وتبلغ حد الإلزام.

وعودًا إلى عملنا الذي نناقشه في هذه السطور، فقد واجهتني فيه معضلات عدة؛ كان من أهمها مشكلة الاصطلاح العلمي، لكن بتوفيق الله سبحانه ذلّل الأستاذ المراجع معظم العقبات والإشكالات، ويتفرّع من قضية الاصطلاح العلمي مسألة تخيّل المشهد العلمي (كحركة الجزيئات ودورانها وتقافزها، وكذلك رقصة الإليكترونات وحركتها ووصفها عند كل مشهد يصادفنا في الحياة) من أجل التعبير عنه بلغة مفهومة ومنطقية وقابلة للتصور. ولم يألُ الدكتور عبد الحميد جهدًا بإبداء النصح والمشورة مما مكنني – وأنا غير المتخصص في هذا العلم- من اكتساب فهم وإلمام كافيين للتعبير عن المشاهد الفيزيائية (وأحيانًا تصحبها مشاهدات كيميائية وفلكية وجيولوجية، وكذلك معادلات رياضية)، إذ بذلنا ما بوسعنا لإيجاد حالة التكامل المنشودة بين المترجم والخبير في مجاله للحصول في النهاية على نص مقروء على مستوى القارئ المتطلع لإدراك هذه الأسرار العلمية الحياتية، ويقبله أهل الاختصاص (أي الفيزيائيون والمختصون بالعلوم القريبة من الفيزياء) ليحكموا على مدى جودته ونفعه، سواء من ناحية المحتوى الأصلي، أو النص العربي المنقول والمعروض بين أيدي القارئ العربي.

وعلاوة على ذلك، ظهرت لنا مشكلة اللغة والأسلوب الذي اعتمدته المؤلفة، وسبّب للمترجم والمراجع إشكاليات غير قليلة، إذ استخدمت في أحايين كثيرة اللغة الدارجة في وصفها للظواهر و«الأشياء» كما تسميها هي في مواضع متكررة من الكتاب، وأعتقد أن اللجوء لهذا الأسلوب –الذي يبدو واضحًا أنها استهدفت من خلاله الوصول إلى القارئ العادي في بريطانيا والولايات المتحدة تحديدًا- يسبب إرباكًا لأي مترجم يفترض أن اللغة الكتابية (غير الأدبية Non fiction) هي رسمية وقياسية بطبعها Standard Official Language، ولكن يبدو هذا

الافتراض لا محل له من الوجود في هذا العمل. ومع أن هيلين تشيرسكي تحمل شهادة دكتوراه في الأدب من جامعة كامبرج كما تذكر في سيرتها الذاتية، بيد أن كمية العبارات الدارجة أو العامية Informal تؤكد أنها اختارت لغة معينة تستهدف من خلالها شريحة عامة من المحيط الذي تعيش فيه. لقد ضاعف هذا الأسلوب من مشقة إدراك الصور والمشاهد التي تتحدث عنها الكاتبة، ولا تكفي هذه المساحة البسيطة لسرد الأمثلة على ذلك، غير أنها لا تخفى في ثنايا الكتاب على القارئ الواعي. ولعلي أضيف تعليقات أخرى على تجربتي في ترجمة هذا العمل في مدونتي الشخصية إن شاء الله.

أنوّه للقراء الكرام أننا تعمدنا عدم المبالغة في استخدام الحواشي في أسفل الصفحات عند الحاجة لذلك، حرصًا على عدم تشتيت القارئ أو إبعاده عن تسلسل السياق، وكان لنا في ذلك ثلاثة ضوابط:

- الحواشي الأصلية التي ذكرتها المؤلفة ونقلناها حسب أصول الترجمة.
- وضع المصطلح أو التسمية العلمية بلغته الأصلية الواردة في النص في الحاشية، تسهيلًا على الدارسين والباحثين لربط المصطلح بترجمته العربية.
- شروحات لبعض الاختلافات وأسماء الأعلام، أو تسميات متعددة لمصطلح واحد.

كما راعينا وضع أسماء الشهور بصيغتها الغربية (يناير، فبراير، مارس... إلخ) وصيغتها العربية الشمسية (كانون الثاني، شباط، آذار... إلخ). أما عن وضع مداخلاتي في النص فكان على أضيق الحدود، وجعلتها بين معقوفين [ ] تمييزًا عن استخدام القوسين ( ) اللذين قد تلجأ إليهما المؤلفة.

وفي ختام هذه الكلمة أود أن أشكر كل من ساندني وشجعني لإنجاز هذه الترجمة، سواء عبر النصح، أو التوجيه إلى مكامن خلل لم ألحظها، أو حتى بكلمة طيبة.

فلنقرأ معًا كيف «تعيش البشرية...».

فيصل كريم الظفيري

الكويت – الثالث من مايو/أيار ٢٠١٩

قضيتُ في بيت جدتي برهة من الزمن وقت دراستي في الجامعة أذاكر الفيزياء، فبدَا على ملامح وجهها التأثر البالغ، وهي المرأة الشمالية ذات الصفات الواقعية والعملية، حين أخبرتُها أنني أدرس تركيبة الذرة.

فردت قائلة: "وما الذي ستفعلينه إذا عرفتِ ذلك؟".

إنه سؤال وجيه جدًا!

مقدمة المؤلفة

تعيش البشرية على الحافة، وتتبوأ موقعًا بين كوكب الأرض وبقية أرجاء الكون، وبمقدور أي شخص أن ينظر بإعجاب إلى جحافل النجوم البرّاقة التي لا نهاية لها في ليلة سماء صافية. إنها النجوم الدائمة الظهور والمألوفة لنا، وتمثل علامة مميزة لموقعنا في الكون. شهدت كل حضارة من حضارات البشرية عوالم النجوم، لكن مَنْ لمسها؟ أما موطننا الأرض فهو على النقيض من ذلك؛ يشوبه الاضطراب والتغيّر، ويعجّ بالمستجدات ويمتلئ بالأشياء التي نلمسها ونعمل على تعديلها يوميًا. فإذا شعرت أيها القارئ الكريم بالاهتمام والرغبة بمعرفة كيف يعمل الكون فهذه نقطة انطلاقك التي يجب أن تبدأ منها. إن العالم الطبيعي مليْءٌ بالتنوع المذهل الذي تحدِثه المبادئ ذاتها، فالذرات تتحد معًا بطرق مختلفة لتولّد نتائج غزيرة. لكن هذا التنوع ليس عشوائيًا، فعالمنا يكتظ بالأنماط المنتظمة.

إذا صببنا حليبًا على كوب من الشاي وقمنا بتحريكهما بسرعة ليمتزجا، فسنرى ما يشبه الدوّامة الحلزونية لسائلين يلتفان حول بعضهما ولا يكادان يتلامسان، سيظل هذا الشكل الحلزوني في كوب الشاي لثوان فقط قبل أن يمتزج السائلان تمامًا، لكنه ظل لفترة تكفي لمشاهدته، وهذا مجرد تذكير صغير بأن السوائل إنما تمتزج بأنماط حلزونية جميلة الشكل ولا تندمج فورًا. ويمكن رؤية النمط ذاته في أماكن أخرى أيضًا، وللسبب نفسه. فإن نظرنا إلى الأرض ونحن في الفضاء سنرى غالبًا في السحب دوامات تشبهها كثيرًا، حيث يصنعها التفاف الهواء الساخن بالهواء البارد فلا يختلطان مباشرةً. تهبّ مثل هذه الدوامات الهائجة على بريطانيا باندفاعها من المحيط الأطلسي غربًا بانتظام، محدثةً الطقس المتقلّب المعروف والمهيمن على منطقة بريطانيا. وهي تتشكل في الحد الفاصل بين الهواء القطبي البارد شمالًا والهواء الاستوائي الساخن جنوبًا، فيطارد الهواء البارد والهواء الساخن بعضهما في أشكال دائرية، ويمكن مشاهدة هذا النمط بوضوح في صور الأقمار الصناعية. نتعرف إلى هذه الدوامات من خلال المنخفضات الجوية أو ما ينتج عنها من أعاصير، كما نشهد تغيّرات جوية سريعة تتفاوت بين الرياح والأمطار وإشراقات شمسية في الوقت الذي تلتف فيه أذرع الدوامات الحلزونية ويدفع بعضُها بعضًا.

قد لا تتشابه عاصفة دوّارة وكأس من الشاي نعمل على تحريكه كثيرًا، لكن وجه الشبه بين أنماطهما ليس مصادفة، بل يمنحنا ذلك إشارة ظاهرة إلى أمر أعمق في جوهره، فما يختبئ تحتهما قاعدة تتكرر بانتظام لهذه التشكيلات كلها، وهي القاعدة التي اكتشفَتها ودققَتها واختبرَتها تجارب صارمة نفذتها أجيال من البشر. هذه العملية المتواصلة من الاكتشافات إنما تجسّد فكرة العلم بحد ذاته؛ التحسين والاختبار المتواصل لفهمنا للأشياء، إلى جانب تنقيبٍ يميط اللثام عن أمور أكثر يجب أن تُفهم.

يسهل أحيانًا استكشاف نمط معين في أماكن جديدة، لكن العلاقة في أحيان أخرى قد تصبح أكثر عمقًا، ولذلك عندما تبرز ملامح هذه العلاقة -في نهاية المطاف- فهذا مُرْضٍ تمامًا. فعلى سبيل المثال: قد لا تعتقدون للوهلة الأولى أن هناك سمات مشتركة بين راكبي الدراجات والعقارب، لكنهما يتشاطران حيلة علمية مشتركة تمكنهما من النجاة، وإن كان ذلك لغرضين متناقضين.

يسيطر البرد الشديد ويعم الهدوء العميق في ليلة لا ينيرها القمر في صحراء شمال أمريكا، ومحاولة العثور على أي شيء هنا يعد شيئًا أقرب إلى المستحيل، إذ لا ينير الأرض سوى ضوء النجوم الخافت، لكن إذا أراد المرء إيجاد كنز معين، فعليه أن يجهّز نفسه بمشعل من نوع خاص، وينطلق نحو الظلام، ولا بد أن يكون هذا المشعل من النوع الذي يصدر ضوءًا خفيًا لا يراه أبناء جنسنا؛ الضوء فوق البنفسجي، أو ما يوصف بـ«الضوء الأسود». ومع انتقال الشعاع عبر الأرض، يمسي من المستحيل تحديد أين يتجه بالضبط لأنه خفي، ثم يظهر لمعان حين يثقب ظلام الصحراء مخلوقًا يعدو مسرعًا، ويعلوه ضوء أزرق مُخضر يثير القشعريرة؛ إنه عقرب.

هكذا يعثر الهواة على العقارب، فهذه الفصائل العنكبوتية تمتلك في هيكلها الخارجي مادة ملونة تستوعب الضوء فوق البنفسجي الذي لا نراه، وترسل في المقابل ضوءًا مرئيًا بمقدورنا أن نراه. إنها تقنية شديدة الذكاء، غير أن المرء الذي يخاف العقارب قد لا يثمّن ذلك تثمينًا صريحًا. واسم هذه الحيلة باستخدام الضوء هو «الفلوريّة»fluorescence. ويُعتقد أن وهج اللون الأزرق المخضر للعقرب هو أداة من أدوات التكيّف التي تتمتّع بها العقارب لمساعدتها على إيجاد أفضل أماكن الاختباء عند حلول الغسق. يوجد الضوء فوق البنفسجي من حولنا طوال الوقت، لكن في أثناء الغسق، وعند لحظة انزواء الشمس خلف الأفق، فإن

معظم الضوء المرئي يزول ولا يبقى سوى ما فوق البنفسجي، فإذا ظل العقرب مكشوفًا في العراء، يتوهج ويصبح تحديد موقعه سهلًا؛ لأنه ما من ضوء أخضر أو أزرق آخر في الجوار سوى الضوء الصادر منه، وإذا شعر العقرب أنه انكشف ولو بقدر بسيط، فيمكنه تحسّس توهجه، وبالتالي يعلم أن عليه أن يجتهد أكثر بإيجاد مخبأ مناسب. إنه نظام تنبيه فعّال وأنيق، أو هكذا كان إلى أن ظهرت المشاعل فوق البنفسجية المحمولة .

من حسن حظ أولئك الذين يشعرون بالخوف أو القشعريرة من الفصائل العنكبوتية أنه لا يجب على أحد أن يذهب في الليل إلى صحراء مأهولة بالعقارب لكي يرى «الفلوريّة»، فهي متوفرة وشائعة كذلك عند كل صباح غائم في المدينة. فلنمعن النظر في راكبي الدراجات، فستراتهم عالية الوضوح وتبدو برّاقة وغريبة مقارنةً بما يحيطها، فهي تبدو كما لو أنها تتوهج، وذلك لأنها متوهجة فعلًا. تحجب الغيوم التي تتكاثف في الأيام المغيّمة الضوء المرئي، لكن أكثر الضوء فوق البنفسجي ما ينفك ينبعث من بينها، فتستقبل المادة الملونة في تلك السترات عالية الوضوح الضوء فوق البنفسجي، وترسل بالمقابل الضوء المرئي. إنها الخدعة والحيلة ذاتها التي تلعبها العقارب، إنما لهدف مناقض. فراكبو الدراجات يريدون أن يتوهجوا، وأن يصدر منهم ذلك اللون الزائد، لتسهل رؤيتهم، وبالتالي يتحركون بأمان أكثر. وهذا النوع من «الفلوريات» إنما هو تحصيل حاصل يتلقاه البشر؛ فنحن لا ندرك وجود الضوء فوق البنفسجي أصلًا، وبذلك لا نخسر شيئًا عندما يتحول إلى ظاهرة يمكن الاستفادة منها.

هذه العملية إنما هي من المظاهر الساحرة والمثيرة للعجب، بيد أن مكمن السرور الكبير بالنسبة إليّ أن هذه الفكرة الفيزيائية ليست من الأمور الواقعية المثيرة للاهتمام فحسب، بل هي من الأدوات التي يمكن للمرء حملها معه أيضًا، فهي مفيدة في أي مكان. وفي حالتنا هنا، فهي الفكرة الفيزيائية ذاتها التي أعانت العقارب وراكبي الدراجات على النجاة والنجاح. وهي تعمل كذلك على جعل المياه المعدنية تتوهج تحت الضوء فوق البنفسجي نظرًا لأن مادة الكينين (شبه القلوية) فيها فلوريّة. وكذا تعمل منظفات غسيل الملابس وأقلام التمييز والتأشير مفعولها السحري. وضَع نصب عينيك في المرة القادمة التي ترى فيها فقرة مُحَدّدة وملونة بقلم التمييز والتأشير أن حبر القلم يعمل كذلك عمل كاشف ضوء فوق بنفسجي،

وبغض النظر عن عدم رؤيتك للضوء فوق البنفسجي، فإنك تعلم أنه موجود بسبب هذا التوهج.

لقد درستُ الفيزياء لأنها فسّرت لي أشياءً اهتممتُ بها، وسمحت لي بالنظر إلى ما حولي وملاحظة آلية عمل الأشياء التي تسيّر حياتنا اليومية، أما الأفضل من ذلك فهو أن الفيزياء سمحت لي أن أعمل بعضًا من هذه الآليات لنفسي، فعلى الرغم من أنني أصبحت فيزيائية محترفة الآن، إلا أن كثيرًا من العمليات التي أجريتها لنفسي لم تتضمن مختبرات أو أجهزة حاسوب معقّدة أو تجارب مكلفة، وقد ظهرت أكثر الاكتشافات إقناعًا من أفعال عشوائية كنت ألهو بها في وقت لم أقصد أن أقوم فيه بأية عمليات علمية على الإطلاق. إن معرفة بعض الأساسيات الفيزيائية تحوّل الدنيا إلى صندوق ألعاب.

ثمّة نوع من التكبّر والترفّع أحيانًا حول العلم الذي نجده في المطابخ والحدائق وشوارع الطرق، فصحيح أن الناس يرونه شيئًا نشغل به الأطفال، أي إلهاءً بسيطًا وضروريًا للصغار، غير أنهم لا يرون فيه ما يشكل فائدة تذكر للكبار، فقد يشتري بعض الكبار كتابًا يشرح كيفية حركة الكون، ويُنظر له بوصفه موضوعًا يلائم الكبار. إلا أن هذا الاتجاه يفتقد نقطة مهمة للغاية؛ وهي أن قوانين الفيزياء ذاتها تنطبق في كل مكان، فمثلًا: تجعلنا محمصة الخبز الكهربائية نتعلم بعضًا من أهم القوانين الجوهرية في الفيزياء، وفائدة المحمصة ببساطة أن معظم الناس يمتلكونها وباستطاعتهم ملاحظة كيفية عملها بأنفسهم، ويكمن السبب في جمال الفيزياء وروعتها أن أنماطها التي تعمل من خلالها تتسم بالشمولية والشيوع، إذ توجد في المطبخ وفي أقصى أصقاع الكون على حدٍّ سواء. أما مزية النظر إلى المحمصة فتتمثل أولًا في أن مستخدمها، حتى وإن لم يتعين عليه الاهتمام بدرجة حرارة الجو، يعرف دائمًا سبب سخونة الخبزة المحمصة. وفور أن يألف المرء هذا النمط، فإنه سيتعرّف إليه في أماكن أخرى عديدة، وسيكون بعضها من أهم الإنجازات التي أبدعها المجتمع الإنساني. إن تعلّم العلم في الحياة اليومية ينير طريقًا مباشرًا نحو الخلفية المعرفية للعالم الذي يحتاجه كل مواطن لكي يسهم إسهامًا كاملًا في المجتمع.

هل اضطررتَ يومًا للتمييز بين بيضة نيئة وأخرى مسلوقة من دون نزع قشرتيهما؟ ثمة طريقة سهلة لفعل ذلك؛ ضع البيضة فوق سطح ثابت وناعم واجعلها تدور، ثم المس بعد بضع ثوان خارج القشرة بإصبع واحد فقط بما يكفي

لإيقاف دوران البيضة. قد تتوقف البيضة بلا حراك، لكنها بعد ثانية أو ثانيتين قد تبدأ بالدوران مجددًا. تبدو البيضتان النيئة والمسلوقة متشابهتين من الخارج، لكن الوَسَطين في جوفيهما مختلفان عن بعضهما، وهذا ما سيكشف السر. عند لمسك للبيضة المسلوقة فقد أوقفت جسمًا صلبًا كاملًا، لكنك عندما أوقفت البيضة النيئة، فلم توقف سوى قشرتها، فالسائل الداخلي فيها لم يكفّ عن الالتفاف حول نفسه، ولذلك أخذت البيضة بعد ما يقرب من ثانية أو ثانيتين بالدوران مرة أخرى؛ لأن ما بداخلها يجرّها للدوران. إذا لم تصدقوني، فأتوا ببيضة وجربوا ذلك. إنه مبدأ من أساسيات الفيزياء؛ أن الأجسام تنحو للاستمرار بالحركة ذاتها ما لم يجذبها أو يدفعها شيء، وفي هذه الحالة سيبقى المقدار الكلي لدوران البيضة ثابتًا لأنه ما من سبب طرأ عليها لتغيير ذلك. يُعرف هذا بمبدأ بـ «حفظ الزخم الزاويّ» ، ويتعدى عمل هذا القانون لأشياء أخرى غير البيض.

التقط تلسكوب هابل الفضائي آلافًا مؤلفة من الصور العظيمة لكوننا، وهو جهاز رصد مداري لا يتوقف عن الحركة السريعة حول كوكبنا منذ سنة ١٩٩٠، فقد أرسل لنا صورًا لكوكب المريخ، وحلقات كوكب أورانوس، وأقدم النجوم في مجرة درب التبانة، والمجرة التي أطلق عليها اسم جميل «سومبريرو، وسديم السرطان العملاق». والسؤال الآن: كيف لك أن تحافظ على موقعك عندما تحوم بحرية في الفضاء، وأنت تحدّق بهذه النقاط الضئيلة من الأنوار؟ كيف تعرف بدقة أي طريق تواجه؟ يوجد في هابل سبعة مدوارات (أو جيروسكوبات)، لكلٍّ منها عجلة تدور بسرعة ١٩٢٠٠ دورة بالثانية الواحدة. ويعني قانون حفظ الزخم الزاويّ أن هذه العجلات ستحافظ على دورانها بهذا المعدل لأنه ما من شيء يبطئ حركتها. أما محور الدوران فسيظل موجهًا نحو النقطة ذاتها بدقة لانعدام أي سبب يدفعه للحركة. تعطي المدوارات لتلسكوب هابل توجيهًا مرجعيًا لتبقى أجهزتها البصرية ثابتة على الأجسام البعيدة لأطول مدة ممكنة. يمكن التدليل على المبدأ الفيزيائي، الذي يستخدم في توجيه أحد أعقد التقنيات التي أنتجتها حضارتنا، ببيضة في مطبخك.

لهذا أحب الفيزياء، فكل ما نتعلمه منها سيعود علينا بالفائدة في مكان آخر، ويشكّل هذا كله مغامرة كبيرة، إذ لا نعلم إلى أين ستأخذنا الفيزياء في المرحلة الآتية. إن قوانين الفيزياء التي نلاحظها هنا في الأرض تنطبق على كل مكان في الكون حسب آخر ما توصلنا إليه من علم، فكثير من التفاصيل العملية عن كوننا ميسورة

لكل فرد يريد تفحصها بنفسه. وما يتعلمه أحدنا من بيضة تفقس هو مبدأ فيزيائي ينطبق في كل مكان. فاخْطُ خطواتك بجرأة للخارج متسلحًا ببذرة علمك الصغيرة، وسيبدو لك العالم مختلفًا.

كان ثمة اعتزاز كبير في الماضي بالمعلومات أكثر من الآن، فكان الناس يحصلون على كل شذرة علم بصعوبة، مما يجعلها ثمينة. أما في أيامنا الحالية فنعيش على ساحل محيط من المعرفة يغرقنا بتسونامي معرفي منتظم يهدد سلامتنا العقلية. فإن كان لك أن تتدبر أمور حياتك كما أنت، فلماذا تسعى لمعرفةٍ أكثر، وبالتالي إلى تعقيداتٍ أكثر؟ لا شك أن تلسكوب هابل جميل ورائع، لكن ما لم يوجِّه بين الحين والآخر بوصلته للأسفل ليساعدك على العثور على مفاتيح سيارتك عند تأخرك عن اجتماع ما، فهل يشكّل ذلك فرقًا؟

يشعر البشر بالفضول حول العالم، ويراودنا شعور كبير بالبهجة إذا أشبعنا فضولنا، بل تغدو العملية مجزية أكثر إذا أوجدت حلًا لمشكلة ما بنفسك، أو إذا تشاركت بجولة استكشافية مع الآخرين. وما نتعلمه من المبادئ الفيزيائية من خلال اللعب ينطبق كذلك على التقنيات الطبية الجديدة والطقس والهواتف المحمولة والملابس ذاتية التنظيف، وكذلك المفاعلات الاندماجية. تمتلئ الحياة الحديثة بالقرارات المعقّدة؛ هل من المجدي الإنفاق أكثر على مصباح ضوئي فلوري صغير؟ وهل من الأمان النوم والهاتف بجانب السرير؟ وهل يجب أن أثق بتقرير أحوال الطقس؟ وما الفرق في كون النظارة الشمسية التي نرتديها تحتوي على عدسات مستقطبة؟ لن توفر في أغلب الأحيان المبادئ الأساسية (الفيزيائية) وحدها إجابات محددة، لكنها ستوفر السياق المطلوب لطرح الأسئلة الصحيحة، وإذا اعتدنا حل المعضلات بأنفسنا فلن نشعر بالعجز من عدم وضوح الجواب من المحاولة الأولى. سنعلم بعد قليل من التفكير الإضافي أنه يمكننا إيضاح الأمور. إن التفكير النقدي لهو أساس جوهري للحصول على فهم وإدراك أفضل لعالمنا، لا سيما أن أصحاب الإعلانات والسياسة يصيحون بوجوهنا أنهم يمتلكون معرفة أفضل، فيتعيّن علينا أن نكون قادرين على النظر إلى براهينهم ونفكر مليًا ما إذا كنا نتفق معهم. على أن ثمة ما هو أكثر من حياتنا اليومية ليصبح على المحك، إذ نشعر بالمسؤولية اتجاه حضارتنا، فنحن نصوّت في الانتخابات، وننتقي ما نشتريه، ونختار كيف نمارس معيشتنا، ونحن جميعًا جزء لا يتجزّأ من الرحلة البشرية.

وما من أحد يمكنه فهم تفاصيل عالمنا المعقّد كلها، غير أن المبادئ الأساسية (للفيزياء) أدوات قيّمة ورائعة وتستحق أن تأخذها معك أينما ذهبت.

لكل ما سبق من أسباب، أعتقد أن اللعب بالألعاب الفيزيائية في العالم حولنا ليست للتسلية فقط، بل تحمل ما هو أكثر من المتعة، مع أنني من المغرمين بالتسالي ومتعتها. إن العلم لا يدور حول جمع الحقائق فحسب؛ بل هو عملية منطقية لحل المعضلات، ويكمن المغزى الحقيقي للعلم في أن كل فرد يمكنه النظر إلى البيانات والوصول إلى استنتاج معقول. قد تختلف في البداية هذه الاستنتاجات، لكن للدارس أن يواصل جمع مزيد من البيانات التي تعينه على اتخاذ قرار لتبني هذا التفسير أو ذاك للعالَم، وفي نهاية المطاف تتقارب الاستنتاجات وتتلاقى. هذا ما يفصل العلم عن غيره من مجالات المعرفة، فالفرضيات العلمية لا بد لها من استنتاج تنبؤات محددة قابلة للاختبار التجريبي المتعدد، ويعني هذا أن الباحث إذا تكونت لديه فكرة عن كيفية عمل شيء معيّن، فالأمر التالي الذي يجب عليه أن يفعله هو استنباط المآلات والنتائج المحتملة لفكرته، فيتحتّم عليه إمعان النظر بدقة في النتائج التي يمكنه التحقق منها ومراجعتها، وخصوصًا تلك الاستنتاجات التي يمكن إثبات بطلانها. فإذا نجحت الفرضية بالمرور من كل اختبار يمكن تصوّره، فسنوافق بحذر على أنها فرضية حازت على أرجحية لتكون نموذجًا صالحًا للطريقة التي يعمل عليها العالم. يحاول العلم دائمًا إثبات بطلان نفسه، لأن ذلك هو الطريق الأسرع لاكتشاف حقيقة ما تجري عليه الأمور والظواهر.

ليس على المرء أن يصبح عالمًا مؤهلًا لكي يقوم بالتجارب في هذا العالم، إذ يكفيه أن يعرف بعضًا من الأساسيات الفيزيائية لتضعه على المسار الصحيح لاستنباط كثير من المسائل وحلّها، ولا تحتاج أحيانًا أن تكون العملية منظمة أصلًا، فلا يختلف ذلك عن لعبة أحجية الصور المتقطعة التي تكاد تتكامل قطعها في أماكنها الصحيحة.

بدأت إحدى جولاتي الاستكشافية بخيبة أمل؛ أعددتُ مربّى التوت ذي اللون الأزرق المألوف ، وتحول لون الحَبّات إلى الوردي الأرجواني الضارب إلى الحُمرة. حدث ذلك منذ بضع سنين مضت عندما كنت أسكن في ولاية رود آيلاند، حيث انكببتُ على فرز آخر الأغراض الصغيرة لي قبيل عودتي إلى بريطانيا. أنهيتُ معظم الأشياء إلا أمرًا واحدًا أصابني التعنّت بوجوب تكريس وقت للتعامل معه قبل مغادرتي. لطالما أحببتُ التوت، فله من الزرقة الجميلة والعجيبة ما يمنح

شعورًا غريبًا باللذة، ومما يدعو للإحباط أنه متاح بكميات قليلة في معظم الأماكن التي عشتُ فيها، لكنه ينمو بوفرة في رود آيلاند، فرغبتُ في أن أحوّل بعضًا من توفر هذه النعمة من التوت البري الصيفي إلى مربّى أزرق، لأجلبه معي إلى بريطانيا، فقضيتُ إحدى فترات صباحي الأخيرة بالتقاط التوت البري وفرزه.

ومن أهم وأمتع مظاهر مربى التوت أن ثماره تأتي بالتأكيد بلون أزرق، هذا ما اعتقدته على أية حال. لكن الطبيعة كان لها رأي آخر، إذ ظهر في قِدر المربّى الذي يغلي أشياء كثيرة لم يكن اللون الأزرق من بينها. ملأتُ الأوعية بالمربّى وبدا طعمه لطيفًا للغاية، إلا أن أذيال الخيبة والحيرة لحقتني ومعي المربى الوردي الذي صنعته لآخذه إلى بريطانيا.

طلب مني صديق بعد ستة شهور أن أساعده في حل لغز من ألغاز التاريخ، كان يعدّ برنامجًا تلفازيًا عن مشعوذات، وقال إن ثمة سجلات تاريخية عن «حكيمات» كن يغلين بتلات نبتة رعي الحَمَام بالماء، ثم يضعن السائل الناتج على جلود الناس كأسلوب لمعرفة ما إذا كانوا مصابين بالسحر. وتساءل صديقي عن فكرة ما إذا كُنّ يعملن على قياس شيء ما قياسًا منتظمًا، حتى وإن لم يَنْوِنّ ذلك، فأجريت بحثًا صغيرًا لأكتشف أنهن ربما فعلن ذلك.

تحتوي زهور رعي الحمام البنفسجي، وكذلك الكرنب الأحمر، والبرتقال الأحمر، وكثير من النباتات البنفسجية والحمراء، على مركبات كيميائية تُدعى «أنثوسيانين» ، وهي مواد عضوية لونيّة تمنح النباتات ألوانها البراقة. يوجد منها درجات مختلفة، وهو ما يسبب تنوّع الألوان واختلافها، لكن جميعها ذات تركيب جزيئي متشابه، ولا يقتصر الأمر على هذا وحسب، بل يعتمد اللون كذلك على حمضية السائل الذي يوجد بداخله الجزيء، وهو ما يُطلق عليه «الأُسّ الهيدروجيني» pH Value. فإذا جعلتَ البيئة المحيطة تميل أكثر نحو الوضع الحمضي أو نحو الوضع القلوي (القاعدي)، فسيغيّر الجزيء شكله بعض الشيء، ويتغيّر معه تبعًا لذلك لون النبات. إنها بمنزلة المؤشرات، أو نموذج طبيعي لورق عبّاد الشمس.

يمكنك الاستمتاع بعمل هذه الأشياء في المطبخ، وما عليك سوى غلي النبتة للتخلص من مادتها الملونة، فاغلِ مثلًا نبتة كرنب أحمر في الماء، ثم احفظ هذا الماء (الذي تحوّل الآن إلى اللون البنفسجي)، واخلط بعضًا منه مع الخل ليتحول لونه إلى الأحمر، أما خلطه مع محلول مسحوق الغسيل (وهو مادة قلوية مركّزة)

فسيحوله للون الأصفر أو الأخضر. وبمقدورك أن تولّد طيفًا كاملًا من ألوان قوس قزح مما هو متوفر في مطبخك، فأنا أعرف ذلك؛ لأنني فعلته. أحببتُ هذا الاكتشاف لأن مركبات «أنثوسيانين» متوفرة في كل مكان، ويتيسر لأي شخص الحصول عليها، وليس مطلوبًا هنا أي تجهيز كيميائي!

فلعل الحكيمات استخدمن زهور رعي الحَمام لفحص وجود الأسّ الهيدروجيني، وليس إصابة الناس بالسحر، إذ يمكن للأس الهيدروجيني في جلد الإنسان أن يتباين طبيعيًا، وبوضع السائل المغلي من زهرة رعي الحمام على الجلد فسيولّد ألوانًا مختلفة لأناس مختلفين. استطعتُ أن أجعل ماء الكرنب يتحول من اللون البنفسجي إلى اللون الأزرق عندما أتصبب عرقًا بعد قطع مسافة طويلة جريًا، لكن لونه لم يتغير عند عدم ممارستي للتمارين الرياضية، فلعل تلك الحكيمات قد لاحظن أن أناسًا مختلفين جعلوا المواد الملونة تتغير بطرق مختلفة، ثم قدموا تفسيراتهن بناءً على ذلك. لن نعرف على وجه اليقين، لكن يبدو لي أن هذه فرضية منطقية.

كفانا من التاريخ، فقد تذكرتُ التوت البري والمربّى، إذ يأخذ التوت البري اللون الأزرق لأنه يحتوي على مركبات أنثوسيانين، أما المربّى فيتكوّن من أربعة عناصر: فاكهة وسكر وماء وعصير ليمون، فعصير الليمون يساعد مادة البكتين الطبيعية في الفاكهة على أداء وظيفتها في المربّى، ويقوم بذلك لأنه حمض، أما سبب تحوّل لون مربّى التوت الذي أعددته إلى اللون الوردي فمردّه إلى أن التوت المغلي كان يعمل كورقة اختبار عباد الشمس بحجم قِدر صغير، إذ كان لا بد أن يكون وردي اللون وإلا لن يجهز تجهيزًا ملائمًا. لقد عوّضَت متعة حل هذه المسألة أو كادت أن تعوّض خيبة أملي من عدم صنع مربّى التوت، لكن اكتشاف حصولنا على مجموعة متكاملة من ألوان قوس قزح من فاكهة واحدة فقط يُعد من الكنوز الجديرة بالتضحية.

يشرح هذا الكتاب مسألة ربط الظواهر البسيطة التي نراها في حياتنا اليومية بالعالم الكبير الذي نعيش فيه، وهو بمنزلة العبور السلس والمرح نحو العالم الفيزيائي، لتبيان كيف أن اللعب بمواد بسيطة مثل الفُشار وبقع القهوة ومغناطيس الثلاجات يمكنه أن يلقي الضوء على رحلات روبرت سكوت الاستكشافية، والفحوص الطبية، وحل مشكلات احتياجاتنا المستقبلية للطاقة. لا ينحصر العلم بغيرنا من العلماء فحسب، بل بنا نحن في المقام الأول، وبمقدورنا جميعًا الانطلاق بهذه المغامرة حسب أسلوبنا. يبدأ كل فصل من هذا الكتاب بظاهرة بسيطة من

عالمنا اليومي نراها أمامنا بصورة متكررة، لكن قد لا تخطر على بالنا البتّة. وسنلحظ مع نهاية كل فصل الأنماط ذاتها التي تفسّر بعضًا من أهم مظاهر العلم والتقنيات في وقتنا الراهن. كل مسعى مصغّر يرمي إلى البحث في هذه المباحث مثمرٌ بحد ذاته، لكن تأتي المكافأة الحقيقية عندما تتكامل أجزاء الصورة كلها معًا.

ثمة منفعة أخرى من معرفة كيفية عمل العالم وحركته، وهي المعرفة التي لا يتحدث عنها العلماء في أغلب الأحيان بما يكفي. إن ملاحظة ما يجعل العالم يعمل ويتحرك يغيّر من منظورنا للحياة، فالعالم ما هو إلا فسيفساء من الأنماط الفيزيائية، التي ما إن تألف أساسياتها حتى ترى كيف تتوافق هذه الأنماط وتتجانس. وما أرجوه من قراءتكم للكتاب هو أن تنمو البذور العلمية إثر توالي الفصول لتزرع شجرة فارعة تريكم العالم من منظور مختلف. أما الفصل الأخير من هذا الكتاب فيطرح استكشافًا لكيفية تشابك الأنماط وتراكبها، لِتَصُوغ لنا الأنظمة الثلاثة لحفظ حياتنا: الجسم البشري، وكوكبنا، وحضارتنا. لكن ليس عليكم الاتفاق مع منظوري. إن جوهر العلم إنما يتجسد بتجريب المبادئ (الفيزيائية) بأنفسكم، والتفكير مليًا بالبراهين المتاحة، ومن ثم الوصول لاستنتاجاتكم التي تجتهدون بها. وكوب الشاي إنما هو البداية.

الفصل الأول: الفشار والصواريخ قوانين الغاز

إن وقوع الانفجارات في المطبخ من الأمور التي لا تبشر عمومًا بالخير، لكن انفجارًا صغيرًا منها من وقت إلى آخر يمكن أن ينتج وجبة لذيذة. تحتوي حبة الذرة المجففة على مكونات شبه غذائية مستحبة، كالكربوهيدرات والبروتينات والحديد والبوتاسيوم، لكنها محشوة بكثافة، وثمة قشرة قوية الصلابة في خارجها. واحتمالات الاستفادة منها تمنّي النفس بما هو كثير، ولجعلها صالحة للأكل يتعين إجراء عملية إعادة تنظيم وتنسيق قصوى، فالانفجار هنا ليس سوى تذكرة مرور، وحبة الذرة تحمل في داخلها بذور تدمير نفسها. قمتُ البارحة بإعداد طبخة أشبه بالمقذوفات الصاروخية، فصنعتُ «فشارًا» . ومما يدعو للارتياح دائمًا اكتشاف أن أي غلاف خارجي صلب وعسير يخفي في داخله مادة طرية وناعمة، لكن لماذا يعمل هذا الغلاف على الانتفاخ بدلًا من تفجير نفسه من الداخل لينتثر إلى قطع صغيرة؟

عندما سَخُن الزيت في الوعاء أضفتُ ملعقة من حبوب الذرة، ثم أغلقت عليه الغطاء وتركته فيما جعلت الغلاية تعمل لصنع الشاي. هبّت خارج البيت عاصفة قوية وضربت قطرات المطر النافذة بقوة. أما حبات الذرة فقد التصقت بالزيت وأخرجت صوتًا رقيقًا. بدا لي الوضع كما لو أن شيئًا لم يقع، لكن المهرجان داخل الوعاء قد بدأت أحداثه فعلًا، فكل حبة ذرة تحتوي على بذرة تشكّل بداية نبتة جديدة، وفيها كذلك سويداء البذرة التي تعمل كغذاء للنبتة الجديدة، إذ تتكوّن سويداء البذرة من مجموعة نشوية داخل حبيبات، ويشكّل الماء فيها ما نسبته ١٤ في المئة تقريبًا. وفي الوعاء، أخذ الماء في حبات الذرة بالتبخر، وتحول إلى بخار من تأثير الزيت الساخن. تتحرك الجزيئات الساخنة حركة أسرع، بحيث تسخن كل حبة ذرة وتُظهِر جزيئات مائية داخلها أكثر فأكثر، وتحدث أزيزًا مثل البخار. ومع أن وظيفة قشرة حبة الذرة هي مقاومة أي هجوم خارجي إلا أنه يتعين عليها الآن احتواء التمرد الداخلي، وأن تعمل كوعاء طبخ مصغر بالضغط. لقد حوصرت جزيئات الماء التي تحوّلت إلى بخار فلا تستطيع الحراك لأي مكان، مما أدى إلى تفاقم الضغط داخليًا، فتصادمت جزيئات الغاز بعضها ببعض وبجدران الوعاء، ومع ازدياد عدد جزيئات الغاز وازدياد سرعتها فإنها تصطدم بقوة متصاعدة بالجزء الداخلي من القشرة.

تجيد أوعية الضغط عملها لأن البخار الساخن يطبخ الأشياء بفاعلية كبيرة، وهذا ينطبق على الفشار من الداخل. ومع بحثي عن أكياس الشاي الصغيرة، طُبِخت حبيبات النشاء (في وعاء الفشار) لتتحول إلى مادة لزجة هلامية مضغوطة، وفي الوقت نفسه ما زال الضغط مستمرًا بالتصاعد. يمكن للقشرة الداخلية للفشار مقاومة هذا الضغط لكن حتى نقطة معينة فقط، فعندما تقترب الحرارة من ١٨٠ درجة مئوية ويتصاعد الضغط إلى ما يقرب من عشرة أضعاف ضغط الهواء الطبيعي من حولنا، فإن المادة اللزجة تقف على حافة النصر.

قمتُ بهز الوعاء هزة خفيفة وسمعتُ أولى أصداء فرقعة غير حادة من الداخل. بدا لي بعد بضع ثوانٍ كما لو أن بنادق آلية مصغرة تطلق نيرانها في الإناء، كما أمكنني رؤية الغطاء وهو يرتفع مع تلقيه للضربات من الأسفل، وجاءت كل فرقعة من تلك الفرقعات بنفخة بخار مدهشة من حافة غطاء الوعاء. تركتُ الوعاء للحظة لكي أصب الشاي، وفي أثناء ذلك اندفع الوابل المتدفق من الأسفل فحرّك الغطاء وبدأت الحبوب المنتفخة بالطيران.

تتغير القواعد في لحظة الكارثة، وحتى تلك النقطة، احتبست كمية ثابتة من بخار الماء داخل القشرة، ويزداد ضغط بخار الماء داخل القشرة كلما ازدادت درجة الحرارة. لكن عندما تستسلم القشرة في نهاية المطاف، يصير ما بداخلها عُرضة إلى ضغط الجو في الوعاء من دون وجود حد يقيّد حجم بخار الماء. وما زالت المادة الهلامية اللزجة للحبات مليئةً بالجزيئات الساخنة المتدافعة، غير أنه ما من شيء يقاوم تدافعها من الجهة الأخرى للقشرة. فهي لذلك تتمدد تمددًا عنيفًا إلى أن يعادل الضغط الداخلي مثيله الخارجي، وتصبح المادة الهلامية اللزجة رغوةً منتفخةً بيضاء ومتمددة، ويتحول ما بداخل الحبة إلى خارجها، وتصبح صلبة إثر برودتها، فتكتمل عملية التحوّل.

لقد كشف تكوين الفشار عن بعض الضحايا المُهمَلين في الوعاء، فقد تقوقعت للأسف حبة الذرة المحترقة وغير المنتفخة في قعر الوعاء. لو صار غلاف القشرة الخارجي عرضة إلى التلف فسينفد بخار الماء منه إثر تسخينه، ولن يتراكم الضغط أبدًا. أما السبب في أن الفشار ينتفخ والحبوب الأخرى لا تنتفخ يكمن في أن الأخيرة لها قشور مسامية. وإذا كانت الحبة جافة فلعل هذا مرده إلى أنها حُصدت في الوقت الخطأ، فلا يوجد في داخلها ماء كافٍ لتوليد الضغط المطلوب لانفلاق

القشرة. ومن دون عنف الانفجار فسيظل ما هو غير صالح من حبوب الذرة غير قابل للانفجار.
أخذتُ معي وعاء الفشار المنتفخ بعناية نحو النافذة ووقفت أتابع العاصفة. التدمير بحد ذاته لا يعني أمرًا سيئًا على الدوام.
***
ثمة جمال في البساطة، كما أن ما يدعو لازدياد الغبطة والسرور أن الجمال يخرج من رحم التعقيد، فأنا أرى القوانين التي تطلعنا على أنماط حركة الغازات شبيهة بتلك الخدع البصرية التي يظن المرء فيها أنه يرى شيئا ما، وعندما يعيد النظر بعد غمضة عين يرى شيئًا مختلفًا تمامًا.
إننا نعيش في عالم تصنعه الذرات، فكل نقطة من ذرات المادة الضئيلة مغلفة بنمط مميز من الإليكترونات ذات الشحنة السالبة، ومرافقات لها من النويات الثقيلة ذات الشحنة الموجبة. وعلم الكيمياء إنما يتمحور حول هذه المرافقات التي تتبادل الأدوار بين الذرات المتعددة، وتبدّل تشكيلها في الوقت الذي تلتزم فيه بإطاعة القواعد الصارمة للعالم الكميّ، وكذلك في إعادة تشكيل الأنوية الحبيسة في أنماط أكبر تُسمى جزيئات. يوجد في الهواء الذي أتنفسه وأنا أكتب هذه السطور أزواج من ذرات الأكسجين (كل زوج يعادل جزيئًا واحدًا من الأكسجين) تنطلق بسرعة ١٤٤٨ كيلومتر في الثانية، وتتصادم مع ذرات النيتروجين المتحركة بسرعة ٣٢١ كيلومتر في الثانية، وربما ترتد من جزيء ماء يسير بسرعة ١٦٠٩ كيلومتر في الثانية. إنه وضع فوضوي ومعقد ومخيف – ذرات مختلفة، وجزيئات مختلفة، وسرعات مختلفة – ويوجد في كل سنتمتر مكعب من الهواء ما يعادل ٣٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ (٣ × ١٠١٩) جزيء، يتصادم كل منها بمعدل مليار مرة في الثانية. ربما تفكرون أن الطريق المعقول هو أن نترك كل تلك الفوضى والتعقيد ونسلك مجالات أخرى كجراحة الدماغ أو النظرية الاقتصادية أو اختراق أجهزة الحاسوب العملاقة، وذلك شيء أبسط على أية حال. وأرجح تبعًا لذلك أنه كان من الأنفع والأجدى عدم امتلاك الروّاد الأوائل الذين اكتشفوا سلوك الغازات وحركتها لأية فكرة عنها، فالجهل له منافعه التي لا نراها. لم تكن فكرة الذرات في الحقيقة مصنّفة ضمن العلوم إلا في بدايات القرن التاسع عشر، ولم يظهر الدليل الحاسم على وجودها إلا سنة ١٩٠٥ تقريبًا، إذ لم يكن بحوزة روبرت بويل في سنة ١٦٦٢ ومساعده روبرت هوك سوى أوانٍ زجاجية وزئبق

وقليل من الهواء المحتبس، بالإضافة إلى قدر مناسب من الجهل، فوجدا أنه كلما ازداد الضغط على جيب من الهواء، تناقص حجمه؛ إنه قانون بويل الذي ينص على أن ضغط الغاز متناسب عكسيًا مع الحجم، ثم وجد جاك تشارلز بعد ذلك بقرن أن حجم الغاز متناسب طرديًا مع درجة حرارته، فإذا ضاعفنا درجة الحرارة فإننا نضاعف الحجم، وهذا مما لا يكاد يُصدق، فكيف لمثل هذا التعقيد الذري أن يقود إلى شيء يتسم بالبساطة والتناسق الشديدين؟

***

شهيق أخير ودفعة هادئة بذيله اللحمي، ثم يغادر هذا العملاق تاركًا خلفه الغلاف الجوي، فكل ما يحتاجه حوت العنبر لكي يعيش في الخمس والأربعين دقيقة الآتية، مُخزّن في جسمه، ومن ثم يبدأ الصيد، أما الجائزة فهو حبّار ضخم، وهو وحش طري كالمطاط ومسلح بمجسّات وأعضاء ماصّة شرسة وفك مخيف. ولا بد للحوت لكي يجد فريسته، أن يجازف بالغوص في أعماق ظلام المحيط التي لم يتسرب لها ضوء الشمس قط. تصل رحلات الغوص الروتينية إلى أعماق ٥٠٠-١٠٠٠ متر، أما الرقم القياسي المسجّل فبلغ ٢ كيلومتر. يتربّص الحوت في الظلام مستخدمًا شعاع (سونار) دقيق التوجيه، وينتظر بصبر صوت الصدى الخافت الذي يؤذن باقتراب وجبة عشائه، في الوقت الذي لا يعي فيه الحبّار ولا يتوقع ما يجري، فهو أصم!

إن أثمن الكنوز التي يحملها الحوت معه نحو ظلمات القاع هو الأكسجين الذي يحتاجه لتستمر التفاعلات الكيميائية المقوّية لعضلات السباحة، بل ليتمكن الحوت كذلك من أن يعيش، غير أن الأكسجين الغازي الذي يحصل عليه من الجو يصبح مسؤولية ثقيلة في الأعماق، بل في حال هبوط الحوت من السطح يمسي الهواء في رئتيه مشكلة بحد ذاته، فمع كل متر يغوص فيه الحوت للأسفل يضغط وزن المتر الإضافي من الماء على جسمه، وترتد جزيئات الأكسجين والنيتروجين في رئته اتجاه بعضها واتجاه جدران الرئة، ويوفر كل تصادم دفعة واحدة ضئيلة جدًا. أما عند سطح البحر، فتتوازن الدفعات الداخلية من الرئة والخارجية من الماء على جسم الحوت، لكن بينما يغوص العملاق نحو العمق يضغط الوزن الزائد للماء من فوقه على جسمه، ويتغلب عامل الدفع من الخارج على مثيله في الداخل، وتتحرك بذلك جدران الرئتين نحو الداخل لتصل إلى نقطة الاتزان، حيث تتوازن الدفعات الداخلية والخارجية مرة أخرى، ويكمن السبب في الوصول إلى نقطة التوازن أنه

عندما تنضغط رئة الحوت يقل الفراغ بين جزيئات الهواء في رئته، وبالتالي تصبح التصادمات بينها مألوفة بدرجة أكبر، ويعني هذا أن ثمة جزيئات أكثر تضرب جدران الرئتين، مما يؤدي بالضغط الداخلي إلى الازدياد إلى أن يتساوى مع ضرب الجزيئات الضاربة والمنافسة في الخارج، ويكفي عمق عشرة أمتار من الماء ليزيد الضغط الخارجي بما يعادل ضغطًا إضافيًا كاملًا. وحتى إن وُجِد في هذا العمق، وما زال بإمكانه رؤية السطح بسهولة (لو كان ينظر)، فسيقل حجم رئتي الحوت إلى نصف ما كانت عليه، وهو ما يعني أن هنالك ما مقداره ضعفي تصادمات جزيئية على جدران الرئة، فيعادل ذلك الضغط المضاعف القادم من الخارج. لكن الحبّار قد يبعد مسافة كيلومتر واحد أسفل السطح، وهذا الضغط الهائل للماء يعني في هذ العمق أن الرئتين يجب أن يتقلص حجمهما إلى نسبة ١ بالمئة من الحجم الذي كانتا عليه عند السطح.

يسمع الحوت في نهاية المطاف انعكاس إحدى أصوات الحبار العالية، ويتحتم عليه التأهب للمعركة في الظلام الدامس غير متسلحٍ سوى بسونار يوجّهه ورئتين متقلصتين. أما الحبّار العملاق فلا يعوزه التسليح، ومع أنه سيذعن في النهاية، إلا إنه لن يترك الحوت يمضي سابحًا في طريقه إلا بعد أن يصيبه بجروح غائرة .
كيف له أن يمتلك القوة على القتال من دون ضخ أكسجين من رئتيه؟

إن مشكلة الرئتين المتقلصتين تعود إلى أن حجمها لا يشكّل سوى ١ على مئة مما كانت عليه عند سطح البحر، وسيكون معدل ضغط الغاز في العمق أكبر بمئة ضعف من ضغط الغلاف الجوي. ويعمل هذا الضغط على الحويصلات الهوائية ، وهي الجزء الحساس من الرئتين، حيث يتبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون الأدوار بالدخول في الدم والخروج منه، وهي الجزء الذي يعمل على ضخ النيتروجين والأكسجين الزائدين ليذوبا في مجرى دم الحوت، والنتيجة التي قد تترتب على ذلك أعراض شديدة ومؤلمة يطلق عليها الغواصون مسمى «التحنّي» ، فيتصاعد النتروجين كفقاعات في دم الحوت حال عودته إلى السطح مسببًا جميع أنواع الضرر. أما الحل التطوري فيتمثل بإغلاق الحويصلات الهوائية تمامًا بدءًا من اللحظة التي يغادر فيها الحوت سطح البحر، وليس هناك بديل آخر. بيد أن الحوت قادر على الوصول إلى مخزون الطاقة لديه لأن دمه وعضلاته يمكنهما تخزين كمية هائلة من الأكسجين، فحوت العنبر يمتلك ضعفي كمية الهيموغلوبين بالمقارنة مع الإنسان، وكذا عشرة أضعاف كمية الميوغلوبين (البروتين المستخدم

لتخزين الطاقة في العضلات). وعندما يكون الحوت في السطح فإنه يعيد تعبئة خزاناته الضخمة، فحيتان العنبر لا تتنفس إطلاقًا من رئتيها عندما تغوص نحو هذه الأعماق السحيقة، فهذا في منتهى الخطورة. وهي لا تكتفي باستخدام نَفَسها الأخير عندما تكون تحت الماء، بل تعيش وتقاتل على فائض ما تخزّنه في عضلاتها، وما حفظته وجمعته في أثناء الوقت الذي قضته على السطح.

المعركة بين حوت العنبر والحبّار العملاق لم يشهدها أحد، لكن بطون حيتان العنبر النافقة يوجد بداخلها مجموعة من أفكاك الحبّار، وهو الجزء الوحيد المتبقي منها، إذ لا يمكن للحيتان هضمه، فكل حوت يحمل بأمعائه ما يشبه أرشيفًا داخليًا للمعارك التي انتصر فيها. ومع عودة الحوت المنتصر إلى السطح تعيد رئتاه انتفاخهما تدريجيًا وتستأنفان التواصل مع مخزونهما من الدم. وإثر تناقص الضغط يزداد الحجم مجددًا حتى تصل الرئتان إلى شكلهما الأصلي التي بدأتا منه.

مما يدعو للاستغراب أن جمع السلوك الجزيئي المعقّد مع الإحصاءات (غير المقترنة عادةً بالبساطة) يفضي عمليًا إلى نتيجة صريحة، فمن الصحيح أن ثمة كثيرًا من الجزيئات وكثيرًا من التصادمات وكثيرًا من السرعات المختلفة، لكن العاملين المهمين هنا هما فقط نطاق السرعات التي تتحرك بها الجزيئات، ومتوسط عدد مرات التصادمات بجدران الوعاء الذي يحتويها. وما يحدد الضغط هو عدد التصادمات، وقوة كل تصادم (تبعًا لسرعة الجزيء وكتلته)، أما ما يحدد الحجم فهي الدفعات التي تنتج عن كل ذلك بالتناسب مع الدفعات الآتية من الخارج، كما أن لدرجة الحرارة تأثير مختلف بشكل طفيف.

***

يقول معلمنا آدم الذي يرتدي سترة بيضاء ممتدة على بطنه المكتنز الذي يعكس شخصيته المبهجة والمطلوبة من وكالات اختيار الممثلين لأداء شخصية الخبّاز الظريف: «من ذا الذي قد يصاب بالقلق في هذه المرحلة؟» أما لهجته اللندنية فهي هدية فوق البيع، إذ يعجن الرجل عجينةً متفتتة وتعيسة فوق طاولة يقف أمامها، وقد ظلت العجينة متماسكة كما لو أنها على قيد الحياة، وهي كذلك بطبيعة الحال. ثم يعلن قائلًا: «ما نحتاجه لصنع رغيف خبز جيد هو الهواء». أنا موجودة في معهد لتعليم صنع الخبز، ولتعلم إعداد رغيف خبز الفوكاشيا الإيطالي التقليدي، إنني متأكدة أنه لم يسبق لي ارتداء مريلة منذ أن كان عمري عشر سنوات، ومع

أنه سبق لي إعداد كثير من الخبز، إلا أنني لم أرَ من قبل عجينة متفتتة، ولذلك فأنا أتعلم بالفعل.

بدأنا طوعًا بعمل عجينتنا من مكوناتها الأساسية حسب تعليمات آدم، فيخلط كلٌّ منا الخميرة الطازجة بالماء ثم الدقيق والملح، وبعد ذلك نطوي العجينة بحيوية لإعداد الغلوتين، وهو البروتين اللازم لإعطاء الخبز ليونته. وطوال الوقت الذي نمد فيه هذا النسيج الطبيعي ونمزقه، تنهمك الخميرة الحيّة التي يحملها هذا النسيج بتخمير السكر وصنع ثاني أكسيد الكربون. وهذه العجينة، مثلها مثل غيرها مما أعددتها، لا تحتوي على الهواء بداخلها البتة، بل على كثير من فقاعات ثاني أكسيد الكربون فقط. إنها كالمفاعل الحيوي الممتد واللزج، والمنتجات في داخلها محاصرة، مما يسبب انتفاخها. وعند إتمام هذه المرحلة الأولى يُصب عليها الزيت جيدًا وتستمر بالانتفاخ، وفي أثناء ذلك نغسل أيدينا والطاولة وما في محيط المكان. وينتج عن تفاعلِ كل عمليةٍ تخميرُ جزيئي ثاني أكسيد الكربون اللذين تطردهما الخميرة بدورها. وثاني أكسيد الكربون، أو حسب صيغته الكيميائية CO2 هو عبارة عن ذرتي أكسجين ملتصقتين بذرة كربون، وهو جزيء غير تفاعلي، وله طاقة كافية لأن يطفو كغاز حر في درجة حرارة الغرفة، وما أن يجد طريقًا له نحو فقاعة أخرى مليئة بجزيئات ثاني أكسيد الكربون حتى يؤدي ما يشبه لعبة سيارات الاصطدام الترفيهية لساعات. وفي كل مرة تصطدم فيها بجزيء آخر فثمة أرجحية بحدوث تبادل في الطاقة، كالكرة البيضاء في لعبة (السنوكر) التي تصدم كرة أخرى، ستقل أحيانًا سرعة الجزيء إلى حد التوقف التام فيأخذ الجزيء الآخر كل الطاقة ويتحرك بسرعة عالية، وسيتشاطران أحيانًا الطاقة بينهما، وفي كل مرة يصطدم الجزيء بالجدار الغني بالغلوتين للفقاعة، فسيدفع الجدار ويرتد للخلف. في هذه المرحلة فإن هذه الحركة هي ما يجعل الفقاعات تنمو، حيث تكتسب كل واحدة منها جزيئات أكثر في الداخل، ويصبح الدفع نحو الخارج ملحًا أكثر فأكثر، فتتوسع الفقاعة حتى يعمل الدفع المضاد من الغلاف الجوي على موازنة الدفع الخارجي لجزيئات ثاني أكسيد الكربون. تنتقل أحيانًا جزيئات ثاني أكسيد الكربون بسرعة عند اصطدامها بالجدار وأحيانًا تنتقل ببطء. إن الخبّازين، مثلهم مثل الفيزيائيين، لا يعبَؤون بأي جزيء يصطدم بأي جدار وبأية سرعة، لأن هذه لعبة إحصاءات، و٢٩ بالمئة منها تنتقل بسرعات تتراوح من ٣٥٠ إلى ٥٠٠ متر

في الثانية عند درجة حرارة الغرفة وضغط الغلاف الجوي، ولا يهم تحديد ما هي بالضبط.

يصفق آدم بيديه ليسترعي انتباهنا وليكشف النقاب عن انتفاخ العجينة بتباهي الساحر، ثم قام بحركة جديدة عليّ، إذ مدّد العجينة المدهونة بالزيت ثم طواها على نفسها بطيّة واحدة من كل جانب، والغرض من ذلك هو محاصرة الهواء بين الطيتين، فما كان مني إلا أن قلت في نفسي: «إن هذا غش»، لأنني افترضتُ دائمًا أن كل «الهواء» في الرغيف كان عبارة عن ثاني أكسيد الكربون القادم من الخميرة. رأيتُ ذات مرة مُعلّم فن طي الورق (أوريغامي) في اليابان يلقّن طلبته بحماس الطريقة الصحيحة لوضع الشريط اللاصق الشفاف على حصان ورقي ذي زوايا متعددة، وشعرت بالغضب الذي لا مبرر له آنذاك كما حصل هنا في المخبز، لكن إذا أردت الهواء فلمَ لا تستخدم الهواء؟ وحال أن تستوي الخبزة فلن يعلم أحد. استسلمتُ إلى معرفة ذلك الخبير وطويتُ عجينتي بكل وداعة، وأصبحت خبزة الفوكاشيا الخاصة بي مع فقاعاتها جاهزة للفرن، بعد ساعات عدة وبعد مزيد من الانتفاخ والطي وإضافة زيت الزيتون بكمية أكثر مما كنت أتصور، أما «هواء» النوعين معًا فكان على وشك أن يحظى بيومه المميز.

تدفقت الطاقة داخل الفرن إلى الرغيف، وما زال الضغط في الفرن هو الضغط ذاته في الخارج، لكن درجة الحرارة داخل الرغيف ارتفعت فجأة من ٢٠ درجة مئوية إلى ٢٥٠ درجة مئوية، يعادل هذا في الوحدات المطلقة من ٢٩٣ درجة كلفينية إلى ٥٢٣ درجة كلفينية، أي تقريبًا درجة حرارة مضاعفة ، ويعني ذلك في الغازات أن الجزيئات تزيد من سرعتها، أما الجزء الذي يناقض الحدس فهو عدم وجود جزيء مفرد يمتلك درجة حرارة خاصة به. يمكن للغاز الذي هو عبارة عن تجمع من الجزيئات أن تكون له درجة حرارة خاصة به، لكن أي جزيء داخله لا يمتلك ذلك. إن درجة حرارة الغاز ليست سوى طريقة للتعبير عن متوسط ما تمتلكه الجزيئات من طاقة الحركة، لكن كل جزيء منفرد يعمل باستمرار على زيادة سرعته وإبطائها ويتبادل الطاقة مع الجزيئات الأخرى فور تصادمها. فأي جزيء منفرد كأنما يمارس لعبة سيارات الاصطدام بالطاقة التي بحوزته، وكلما تحرك أسرع كان اصطدامه بجوانب الفقاعة أشد، وكذلك يصبح الضغط الذي يولده أكبر. وحال أن يدخل الرغيف في الفرن تكتسب جزيئات الغاز فجأةً طاقة حرارية كبيرة جدًا وبذلك تزداد سرعتها، ويتراوح معدل السرعة ما بين ٤٨٠

متر في الثانية إلى ٦٦٠ متر في الثانية. فيصبح الدفع القادم من الداخل على جدران الفقاعة أشد بكثير، ولا تعمل الجوانب الخارجية في المقابل على الدفع المضاد. وقد توسّعت كل فقاعة بالتناسب مع درجة الحرارة فتدفع من الخارج العجينة مجبرةً إياها على التوسع. وإليكم الأمر المهم... لقد توسّعت فقاعات الهواء (أغلبها نيتروجين وأكسجين) بالطريقة ذاتها التي توسعت فيها فقاعات ثاني أكسيد الكربون، وهذه آخر قطعة لحل اللغز؛ فقد تبيّن أنه من غير المهم ما هي هذه الجزيئات، فإذا ضاعفنا درجة الحرارة فإننا نضاعف الحجم أيضًا (إذا حافظنا على ثبات الضغط)، أو إذا حافظنا على ثبات الحجم وضاعفنا درجة الحرارة فسيتضاعف الضغط، أما المضاعفة الناجمة عن وجود مزيج من الذرات المختلفة فعديمة الصلة بالمسألة برمتها؛ لأن الإحصائيات متماثلة لأي مزيج، ولا يمكن لكل من ينظر إلى الرغيف النهائي أن يميّز أي الفقاعات كانت ثاني أكسيد الكربون وأيها هواء، ومن ثم ينتهي طبخ مصفوفة البروتين والكربوهيدرات المحيطة بالفقاعات وتصبح صلبة، وهكذا ثبت حجم الفقاعة، وضمنّا خبزة الفوكاشيا الرقيقة البيضاء.

يوصف سلوك الغازات بما يُطلق عليه «قانون الغاز المثالي»، وما يسوّغ المثالية هو أنها تعمل فعلًا، وبكفاءة عالية، وهي تنص على أن الضغط يتناسب تناسبًا عكسيًا مع الحجم لكل كتلة غاز ثابتة (إذا ضاعفنا الضغط فإن الحجم ينخفض إلى النصف)، وأن درجة الحرارة متناسبة تناسبًا طرديًا مع الضغط (إذا ضاعفنا درجة الحرارة سنضاعف الضغط)، والحجم متناسب طرديًا مع درجة الحرارة عند الضغط الثابت. ولا تهم ماهيّة الغاز، بل كم عدد جزيئاته الموجودة فقط. إن قانون الغاز المثالي هو ما يعطي قوة الدفع لمحركات الاحتراق الداخلي ومناطيد الهواء الساخن والفشار. وهو لا ينطبق عند تسخين الأشياء فقط، بل عند تبريدها أيضًا.

***

ظل الوصول إلى القطب الجنوبي علامة مضيئة في تاريخ البشرية، ويعدّ مكتشفو القطب من أمثال أمندسون وسكوت وشاكلتون وآخرون من الشخصيات الأسطورية، وتُصنّف الكتب التي تروي إنجازاتهم وإخفاقاتهم من بين أفضل قصص المغامرات في كل العصور، ولم يكتفوا بمواجهة ظروف عسيرة كالبرد القارس الشديد وقلة الطعام والمحيطات الهائجة والملابس غير الملائمة للمهمة،

بل كان عليهم فوق كل ذلك أن يواجهوا قانون الغاز المثالي الذي وقف ضدهم بكل ما في الكلمة من معنى.

إن وسط القارة القطبية الجنوبية هضبة مرتفعة وجافة ويغطيها جليد عميق، لكنه مكان يندر أن تهطل عليه الثلوج. ويعكس السطح الأبيض البراق معظم أشعة الشمس فيردّها إلى الفضاء، ويمكن لدرجة الحرارة أن تهبط إلى ما دون ٨٠ درجة مئوية تحت الصفر. أما على المستوى الذري فيتسم الغلاف الجوي هنا بالركود، إذ لا تتمتع جزيئات الهواء فيه إلا بطاقة قليلة (بسبب البرد)، وتتحرك نسبيًا ببطء. ويهبط الهواء من الأعلى على الهضبة ويستولي الجليد على حرارته، فيمسي الهواء البارد أبرد. أما الضغط فيتسم بالثبات، ولهذا يتقلص حجم هذا الهواء ويصبح أكثر كثافة، وتتقارب الجزيئات معًا وتتحرك ببطء أكثر، وتغدو غير قادرة على الدفع نحو الخارج بقوة تكفي لمجابهة الهواء المحيط بها والدافع نحو الداخل. ومع انحدار الأرض كلما ابتعدنا عن مركز القارة نحو المحيط، ينزلق هذا الهواء البارد كذلك بعيدًا عن المركز على طول السطح، فلا يوقفه أو يصده شيء، كأنه شلال هواء بطيء ينساب كتيّارات موجّهة عبر الوديان الشاسعة، ويتسارع مع هبوط هذه التيارات نحو الخارج باتجاه المحيط. هذه هي الرياح السفحية الهابطة للقارة القطبية الجنوبية، وإذا أراد المرء أن يتمشى في القطب الجنوبي فستصطدم هذه الرياح بوجهه على طول الطريق. يصعب تصوّر حيلة أسوأ من هذه الحيلة التي تؤديها الطبيعة بوجه هؤلاء المستكشفين القطبيين.

مسمى « الرياح السفحية الهابطة» هو محض وصف لهذا النوع من الرياح التي توجد في أماكن أخرى عديدة، لا الباردة منها فقط. ترتفع حرارة هذه الجزيئات الراكدة حال هبوطها ارتفاعًا ضئيلًا، ويمكن لعواقب ذلك التسخين أن تكون مأساوية.

كنتُ في عام ٢٠٠٧ أعيش في مدينة سان دييغو حيث عملتُ في مؤسسة سكريبس لدراسة المحيطات، وقد انتابتني شكوك، كوني شمالية، حول أشعة الشمس الدائمة، لكنني مارست السباحة في حمام سباحة خارجي بطول خمسين مترًا، فلذا لم أشتكِ من شيء، وخصوصًا بعد أن ظهر لي أن ساحل سان دييغو يتمتع بمنظرٍ صافٍ جميل، وأن كل غروب للشمس مدهش، إذ يقع غربها المحيط الهادئ بسحر أفقه المسائي الخلاب.

مع ذلك افتقدتُ تعاقب الفصول الموسمية، فقد بدا لي أن الزمن لا يمضي كما لو أنني أعيش في حلم، لكن هبّت حينها رياح سانتا آنا، وتدرّج الحال من المشمس الدافئ والبشوش إلى الساخن والجاف الكئيب. تهب رياح سانتا آنا مع كل خريف، إذ تنساب قادمة من أعالي الصحراء فتتدفق على سواحل كاليفورنيا لتخرج منها نحو المحيط. تعد هذه كذلك رياحًا سفحية هابطة تمامًا كمثيلتها في القارة القطبية الجنوبية، لكن مع بلوغ هذه الرياح للمحيط يصبح الهواء أكثر سخونة عند الساحل مما كان عليه على الهضبة العالية. وفي أحد الأيام التي لا تُنسى، كنت أركب السيارة متجهة شمالًا على الطريق السريع رقم ٥ نحو أحد الوديان الكبيرة التي يمرّ منها تيار هوائي ساخن نحو البحر، فبرز دفق من الغيم المنخفض الجاثم في الوادي، فقلتُ لصديقي الذي يقود المركبة: «هل تشمّ رائحة دخان؟»، فرد قائلًا: «لا تكوني سخيفة». لكنني استيقظت في الصباح التالي على عالم غريب، فقد شبّت حرائق هائلة شمال سان دييغو، وأخذت تزحف على طول الوادي وانتشر الرماد في الهواء. خرجت نيران مخيم عن السيطرة في الأحوال الجوية الجافة والساخنة، وعملت الرياح على جعل النيران تهبّ نحو الساحل، وتحولت دفقة الغيوم إلى دخان. ذهب بعض الناس إلى عملهم، وأُعيد آخرون إلى منازلهم، وجلس بعضهم في مُجمَّعات للاستماع إلى المذياع متسائلين إن ظلت منازلهم سالمة أم لا؟ فانتظرنا، وملأ الغبار الأفق بسبب سحب الرماد التي يمكن رؤيتها من الفضاء، لكن مناظر الغروب كانت مدهشة، أخذ الدخان بعد ثلاثة أيام بالانقشاع، إلا أن أناسًا أعرفهم التهمت النيران منازلهم، وكان كل شيء قد غطّته طبقة من الرماد، ونصح المسؤولون بعدم الخروج من البيوت لمدة أسبوع.

بَرُد الهواء الصحراوي الساخن على الهضبة العالية، وأصبح أكثر كثافة وانساب باتجاه المنحدر تمامًا كالرياح التي واجهها سكوت في القارة القطبية الجنوبية، لكن الحرائق الهائلة اشتعلت، ليس لأن الهواء جاف فحسب، بل لأنه ساخن كذلك. لماذا تتزايد سخونتها مع نزولها من المرتفعات؟ ومن أين تأتي بالطاقة؟ ما زال ينطبق هنا قانون الغاز المثالي، فهذه كتلة ثابتة من الهواء، وهي تتحرك بسرعة شديدة، بحيث إنه لا وقت لديها لتبادل الطاقة مع ما يجاورها. إثر شق ذلك التيار المكون من الهواء المكثّف طريقه نحو أسفل السفح، يقوم الجو القابع أصلًا في قعر التل بالدفع باتجاهه، لأن الضغط الموجود هناك أعلى، فالضغط على شيء ما إنما هو وسيلة من وسائل منح طاقة، ويمكننا تشبيه ذلك بجزيئات الهواء التي

تصطدم بجدار بالون يتحرك نحوها، حيث سترتد مصحوبة بطاقة أكثر من الطاقة التي بدأت بها، لأنها ترتد من سطح متحرك، وهكذا يقل حجم الهواء في رياح سانتا آنا لأنه انضغط وحُشِر داخليًا على يد الجو المحيط به، ويمنح ذلك الحشر جزيئات الهواء المتنقلة طاقةً إضافيةً، وبذلك تزيد درجة حرارة الرياح، ويُطلق على هذه العملية «التسخين الداخلي للهواء» . يحتاط كل الناس في كاليفورنيا ويحذرون من إشعال النيران في المواقع المفتوحة عند هبوب رياح سانتا آنا في كل سنة. وبعد بضعة أيام من هبوب مثل هذا الهواء الجاف والساخن الذي يستولي على الرطوبة من صفحة الأرض، يمكن لأية شرارة أن تتحول إلى حرائق مدمرة. والسخونة لا تأتي من شمس كاليفورنيا فحسب، بل تنبعث كذلك من الطاقة الزائدة الممنوحة لجزيئات الغاز مع مواجهتها للضغط من قبل الهواء الأكثف القريب من المحيط، كما أن أي شيء يغير من معدل سرعة جزيئات الهواء، سيغير من درجة الحرارة.

يحصل عكس هذا الشيء بالضبط عند انبجاس القشدة المخفوقة من علبتها، فالهواء الذي يظهر في القشدة قد تمدد فجأة وأخذ يدفع ما يجاوره، وبذلك تخلى عن طاقته وخفّض من حرارته. وتبدو فتحة علبة القشدة المنبجسة باردة عند لمسها لهذا السبب، إذ يتخلى الغاز الخارج من العلبة عن طاقته فور بلوغه الجو المفتوح، والطاقة المتبقية القليلة تُشعر المرء ببرودة العلبة.

إن ضغط الهواء ليس سوى قياس لمدى قوة صدم هذه الجزيئات الضئيلة للسطح، ومن المعتاد عدم ملاحظتنا لذلك لأن صدماتها متماثلة من جميع الاتجاهات، فلو أحكمت إمساك ورقة فلن تتحرك لأنها مضغوط عليها من الاتجاهين معًا بتساوٍ. يدفعنا الهواء جميعًا طوال الوقت ولا نكاد نشعر بذلك. استغرق تدبّر مدى قوة تلك الدفعة زمنًا طويلًا، وعندما بانت درجة قوتها كانت النتيجة صادمة شيئًا ما، فلم يكن تثمين عِظَم ذلك الاكتشاف صعبًا، إذ ظل البرهان عليه مشهودًا على غير العادة، ونادرًا ما يتم تجهيز تجربة علمية مهمة لكي تعرض كمشهد أمام جمهور، لكن هذه التجربة بعينها حازت على العناصر الملائمة كلها: كالخيول والإثارة والنتيجة المذهلة، وبحضور الإمبراطور الروماني المقدس وإطلالته.

تمثلت الصعوبة في أنه إذا أردنا فهم مدى قوة دفع الهواء باتجاه شيء ما، فيلزم استبعاد الهواء كله من الجانب الآخر وترك فراغ. أعلن أرسطو في القرن الرابع قبل الميلاد أن «الطبيعة تكره الفراغ»، وظلت هذه الفكرة سائدة قرابة ألف عام

بعد ذلك، وبقيت مسألة خلق فراغ غير مطروحة، لكن في وقت ما قرابة العام ١٦٥٠، اخترع أوتو فون غيريكه أول مضخّة للفراغ، وبدلًا من أن يكتب ورقة تقنية حول ذلك ثم يطويها النسيان، اختار عرضها أمام جمهور للتعبير عن فكرته ، ولعل ما ساعده في ذلك أنه سياسي ودبلوماسي ذائع الصيت وله علاقة جيدة مع حكّام عصره.

في الثامن من مايو/أيار سنة ١٦٥٤، انضم الإمبراطور الروماني المقدّس وحاكم أكبر أراضي أوروبا فردناند الثالث إلى نبلائه قرب مبنى الرايخستاغ في بافاريا لمشاهدة ما جلبه أوتو فون غيريكه من كرة مجوّفة يبلغ قطرها ٥٠ سنتمتر، ومصنوعة من النحاس الثقيل. انشطرت الكرة إلى نصفين منفصلين بسطح منبسط وناعم الملمس، وكل شطر متصل بحلقة من الخارج لكي يُربط بهما حبلان لفصل الشطرين عن بعضهما. دهن السطحين المنبسطين ودفع الجانبين معًا، ثم استخدم مضخة الفراغ خاصته لإزالة الهواء من داخل الكرة التي لا يوجد فيها أو حولها شيء يعمل على التصاقها وتماسكها، لكن الشطرين تصرفا كما لو أنهما ملتصقان بمادة لاصقة بعد تفريغ الهواء. أدرك أوتو أن مضخة الفراغ منحته وسيلة لملاحظة مدى القوة التي يمكن أن يدفع بها الغلاف الجوي، إذ تضرب مليارات الجزيئات الهوائية الضئيلة بعنف كل الجوانب الخارجية من الكرة لتجبر الشطرين على الالتصاق معًا، وفي المقابل ما من قوة في الداخل ترد بدفع مضاد ، ومن غير الممكن سحب الشطرين وفصلهما إلا في حالة سحبهما بقوة أكبر من قوة دفع الهواء.

ثم جاؤوا بخيولٍ وجمعوها، ووُضع قسمٌ منها في كل جانب من جانبي الكرة ليقوما بالسحب للاتجاه المعاكس بعملية تشبه لعبة شد حبل ضخمة. ومع متابعة الإمبراطور وأتباعه، صارت الخيول عرضة للإجهاد في مواجهة الهواء غير المرئي، وما من شيء يجعل الكرة متماسكة سوى قوة جزيئات الهواء التي تتصادم على كرة بحجم كرة الشاطئ، إلا أن قوة ثلاثين حصانًا لم تستطع شطر الكرة، أما عندما انتهت لعبة شد الحبل، فتح أوتو الصمام للسماح بدخول الهواء في الكرة فانفتح الشطران ببساطة. ما من شك في هوية الفائز، فقد كان ضغط الهواء أقوى بكثير من ظن أي أحد، فإذا أخرجنا كل الهواء من كرة بذلك الحجم وعلقناها رأسيًا فإن الدفع العلوي للهواء قادر نظريًا على دعم ٢٠٠٠ كيلوغرام، أي ما يعادل وزن كركدن (وحيد القرن) بالغ وضخم. وهذا يعني أننا لو قمنا بعمل خط دائري

بقطر ٥٠ سنتيمتر على الأرض فإن دفع الهواء على هذه القطعة من الأرض فقط يساوي كذلك وزن ٢٠٠٠ كيلوغرام لكركدن. إن هذه الجزيئات الضئيلة وغير المرئية تصطدم بنا بقوة شديدة في حقيقة الأمر. أجرى أوتو هذا الاستعراض مرات عديدة وأمام أكثر من جمهور، وأصبحت الكرة تُعرف بـ«كرة ماغديبورغ» نسبةً لمسقط رأسه.

أمست تجارب أوتو معروفة جزئيًا بسبب كتابة آخرين عنها، فقد وصلت أفكاره للنطاق العلمي أول مرة من خلال كتاب ألّفه غاسبر شوت وصدر في سنة ١٦٥٧، إذ كتب فيها عن مضخة فراغ أوتو التي ألهمت روبرت بويل وروبرت هوك للشروع في تجاربهما على ضغط الغاز.

يمكنكم تجريب نسخة من هذه العملية من دون الحاجة إلى خيول أو أباطرة، فعلينا أن نأتي بورقة كرتون مربعة ومسطحة وسميكة وتكون كبيرة بما يكفي لتغطية فتحة كأس زجاجية، لكن من الأفضل أن نتحوّط في ذلك فنجري التجربة في حوض، فنملأ الكأس بالماء ونجعله يصل لحافته، ومن ثم نضع فوق حافة الكأس ورقة الكرتون وندفعها بشكل متساوٍ حتى لا يتبقى أي هواء بين سطح الماء في الكأس والكرتونة، ثم نقلب الكأس رأسًا على عقب ونبعد يدنا، ستثبت ورقة الكرتون التي تدعم وزن الماء بأكمله، وستظل ثابتة لأن جزيئات الهواء تصطدم بها من الأسفل وتدفع الكرتونة نحو الأعلى، وهذا الدفع يكفي وحده لإبقاء الماء داخل الكأس بسهولة.

إن خبط جزيئات الهواء لا يفيد في إبقاء الأشياء ثابتة في مكانها فحسب، بل يفيد كذلك في تحريكها من مكان إلى آخر، وليس البشر هم أول من استغل ذلك، فلننظر إلى الفيل، أحد أكبر خبراء الأرض المذهلين في الهيمنة بالهواء على بيئته المحيطة به.

يُصنّف فيل الغابات الأفريقي من بين أضخم الحيوانات العملاقة، ونراه عادةً يتمشى بسلام في السهول الخضراء المغبرة والجافة، وتعتمد الحياة العائلية للفيل على مجموعات من الإناث، فتقود كبيرة منهن كل مجموعة، وهي زعيمة الأسرة وأمها، عندما يهيمون بحثًا عن الطعام والماء، مستندةً في اتخاذ قرارتها إلى ذاكرتها حول الأرض. وهذه الحيوانات لا تعتمد على وزنها الثقيل فقط لكي تعيش، فقد يكون لكل فيل جسم ثقيل الحركة، لكنه يعوض ذلك بأكثر الأدوات حساسيةً ورقةً في مملكة الحيوان؛ الخرطوم. فالفيلة تستكشف العالم مع تحرك كل عائلة

من عوائلها باستخدام هذا الطرف العجيب، سواء بالإشارات أو الشم أو الأكل أو إصدار أصواتها .

يدهشنا خرطوم الفيل بطرق متعددة، فهو شبكة من العضلات المتداخلة والقادرة على ثني الأشياء ورفعها والتقاطها ببراعة مدهشة، ولو كان ذلك كل ما يميزه لكفاه، لكنه يتمتع بفوائد أكبر من خلال المنخرين اللذين يمتدان على طول الخرطوم، وهذان المنخران إنما هما أنبوبان مرنان يربطان طرف استنشاق الخرطوم برئتي الفيل، ومن هنا تبدأ المتعة.

مع اقتراب فيلتنا الأنثى ومجموعة عائلتها من بركة ماء، يتحرك الهواء «الراكد» من حولهم بحركة التدافع والتصادم كما في أي مكان آخر، إذ يضرب جلودها الرمادية المتجعدة ويضرب الأرض من تحتها وسطح الماء أمامها. تتقدم أنثى الفيل الأم قليلًا أمام المجموعة مؤرجحة خرطومها وهي تمشي الهوينى نحو البركة، وتصدر منها الموجات الصوتية المنعكسة من جسمها، فتضع خرطومها في الماء وتغلق فمها وتعمل العضلات الضخمة حول صدرها على رفع قفصها الصدري وتوسيعه. وإثر توسّع رئتيها، تنتشر الجزيئات الهوائية في الداخل لاحتلال المساحة الجديدة، وهذا يعني أنه في داخل طرف الخرطوم، حيث يلمس الماء البارد الهواء في منخريها، لا يوجد سوى جزيئات هواء قليلة تصطدم بالماء. أما الجزيئات الموجودة هناك فتنطلق بسرعة كافية، لكن ما من اصطدامات عديدة، وعاقبة ذلك أن الضغط داخل رئتيها قد هبط، فيظهر الآن أن الجو هو الطرف المنتصر في هذه المنافسة المحتدمة بين جزيئات الهواء التي تصطدم مع بركة الماء مقابل جزيئات الهواء الموجودة داخل الأم، ولم يعد الدفع من الداخل يساوي الدفع من الخارج، أما الماء فهو ما يقف في وسط هذا التنافس. إذن يعمل الجو على دفع الماء نحو أعلى خرطوم الفيل، لأن الدفع في الداخل غير قادر على مساواة الدفع المضاد، وحال أن يحتل الماء بعضًا من المساحة الزائدة تصبح جزيئات الهواء في الداخل متقاربة مع بعضها كما كانت في البداية ولا يتحرك الماء أبعد من ذلك.

لا تشرب الأفيال من خراطيمها، وإذا فعلت ذلك فستكحّ كما نكحّ نحن إذا استنشقنا الماء من أنوفنا. فحال أن يوجد ما يقرب من ثمانية لترات من الماء في خرطوم أنثى الفيل الأم، توقف من توسع قفصها الصدري، فتوجّه طرف خرطومها إلى فمها بعد أن تثنيه للأعلى والأسفل، ثم تستخدم عضلاتها الصدرية لجعل صدرها

ضيقًا لتقلل من حجم رئتيها. ومع التضييق على جزيئات الهواء في رئتيها وحشرها جنبًا إلى جنب، يتكرر مرارًا تصادم سطح الماء الموجود في منتصف الطريق بخرطومها، فتنعكس معركة الهواء في الداخل والهواء في الخارج، ويُدفع الماء من خارج الخرطوم إلى فم أنثى الفيل التي تتحكم بحجم رئتيها لتتحكم بقوة دفع الهواء بداخلها إلى الخارج. لو أنها أغلقت فمها فإن المكان الوحيد الذي سيتحرك باتجاهه أي شيء هو خرطومها، ومهما كان الشيء في طرف خرطومها فسيُدفع إما للداخل أو للخارج. فيعدّ كلٌّ من خرطوم الفيلة الأنثى ورئتيها أداتين مشتركتين للتحكم بالهواء حتى يقوم بعملية الدفع، بدلًا من أنثى الفيل نفسها.

نفعل العملية ذاتها عندما نمتص الشراب باستخدام المصاصة ، فعند توسيعنا لرئتينا ينتشر الهواء بشكل أضيق، فثمة جزيئات هواء أقل داخل المصاصة لتدفع باتجاه سطح الماء، ويعمل الجو المحيط، الذي يدفع على بقية الشراب، على دفع الشراب لأعلى المصَاصة. نطلق على هذا مصًا، لكننا لا نسحب الشراب، بل يدفعه الجو المحيط لأعلى المصَاصة والقيام بالعمل من أجلنا. فحتى الأشياء الثقيلة كالماء يمكن إزاحتها جانبًا إذا كان دفع جزيئات الهواء أقوى بأحد جانبيه من الآخر.

إلا أن امتصاص الهواء عبر خرطوم أو مصّاصة له حدود، فكلما كان فارق الضغط بين الطرفين كبيرًا، كان الدفع أقوى. لكن الفارق الأكبر عندما نقوم بالمصّ هو الفارق ما بين ضغط الجو ودرجة الصفر. وحتى بوجود مضخة ضغط ممتازة بدلًا من الرئة فلا يمكن شرب السوائل عبر مصاصة عمودية يتجاوز طولها ١٠,٢ متر، لأن محيطنا الجوي غير قادر على دفع الماء لأي ارتفاع أطول من ذلك، لذا علينا إذا أردنا استغلال القدرة القصوى لجزيئات الغاز أن تُدفع الأشياء من حولنا تحت ضغط أكبر. الضغط قادر على الدفع بقوة، لكن إذا جعلنا غازًا آخر أكثر حرارة ووضعناه تحت ضغط أكبر، فسيمكنه أن يدفع بقوة أكبر، وإن جلبنا جزيئات غاز ضئيلة لتصطدم بشيء ما بوتيرة وسرعة كافيتين، سنستطيع تحريك حضارة بأسرها.

يجوز لي تشبيه القطار البخاري بتنين حديدي، فهو كالوحش ذي العضلات، ويتنفس ويصدر صوتًا كالهسيس. وُجِدت هذه التنانين قبل أقل من قرن مضى في كل مكان حاملةً على أظهرها المنتجات الصناعية وكل احتياجات المجتمع عبر بلدان بأكملها، مُوسعةً بذلك أرجاء العالم لصالح راكبيها. إنها وسيلة عملية وتسبب الضجيج والتلوث، غير أنها من القطع الهندسية الجميلة. وعندما تقادم الزمن على

هذه التنانين لم يسمح المجتمع لها أن تموت لتشبثه بها عاطفيًا، فقد أبقاها كثير من المتطوعين والشغوفين على قيد الحياة وغمروها بعشق عميق. لقد ترعرعتُ في شمال إنكلترا وانغمستُ بتاريخ الثورة الصناعية بطواحينها وقنواتها ومصانعها وكذلك أجهزتها البخارية أكثر من أي شيء آخر، لكنني أعيش في لندن الآن، مما ينسيني كل ذلك. بيد أن نزهة قضيتها مع أختي على طول سكة حديد بلوبِل البخارية أعادت بي الذاكرة إلى ذلك كله.

كان يومًا شتويًا قارسًا ومناسبًا تمامًا لرحلة يدفعها قطار بخاري مع تناول الشاي وقطع من الكعك، لم نمضِ وقتًا طويلًا في المحطة حيث توجّهنا في البداية، لكن ما إن وصلنا لمنتزه شيفيلد حتى نزلنا من القطار لندخل وسط حركة نشطة من الهمهمة الثابتة وإن كانت بطيئة، إذ مال باستمرار نحو هذه المحركات كثيرٌ من جموع الناس المتغيرة، وبَدَوْا ضئيلين أمام هذه الوحوش الحديدية. أما البشر المسؤولون عن هذه المحركات فسهل تمييز مظاهرهم؛ بدلات عمل زرقاء وقبعات شاحبة وسلوك مرح ولحية اختيارية، نراهم عادة في الفترات الفاصلة بين مواعيد حركة القطار يتكئون على مكان ما. ولاحظت أختي ملاحظة تدعو للاستغراب وهي أن عددًا كبيرًا منهم اسمه «ديف». يكمن جمال المحرك البخاري في أن المبدأ الأساسي الذي يجعله يعمل بسيط ببساطةً رائعة، لكن القوة الخام التي ينتجها بحاجة إلى تحفيز وترويض وتغذية، فالمحركات البخارية والبشر المصاحبين لها لا يفترقون.

كان من العسير، وأنا أقف متطلعةً نحو أحد المحركات الضخمة السوداء، استيعاب أن في وسطها لا يوجد سوى فرن على عجلات يُسخّن مرجلًا عملاقًا. دعانا أحد العاملين ممن اسمه «ديف» للدخول إلى مقصورة التحكم، فتسلقنا السلم الصغير خلف المحرك ووجدنا أنفسنا في ما يشبه مغارة مليئة بالمقابض النحاسية والأزرار المرقّمة والأنابيب، ورأينا كذلك كوبين معدنيين أبيضين كبيرين وشطيرة مطوية خلف أحد الأنابيب، لكن أفضل ما بالمقصورة هو استطاعتنا أن نرى منها الأجزاء الداخلية لهذا الوحش. يمتلئ الفرن العملاق الواقع في قلب المحرك البخاري بالفحم المتقد الذي يحترق بلون أصفر فاقع. أعطاني مشغّل الفرن مجرفةً وأمرني بتغذيته بالفحم، فجرفتُه بكل طاعة من مقطورة الوقود من خلفي لألقمه في الفوّهة المشتعلة. إن المحرك جائع، وسيحرق في رحلة تبلغ مسافتها ١٨ كيلومترًا كمية من الفحم تصل إلى ٥٠٠ كيلوغرام. ويتحول هذا النصف طن من الذهب الأسود الصلب

إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وماء؛ فتطلق عملية الاحتراق العنان لكميات هائلة من الطاقة، ولذا فإن هذه الغازات شديدة السخونة جدًا. هذه النقطة هي بداية عملية تحويل الطاقة التي تمدّ القطار بالقوة اللازمة للحركة.

عندما نتمعن في المحرك البخاري سنجد أن سمته الأساسية تتركز في الأسطوانة الطويلة للمحرك نفسه، والممتدة من المقصورة إلى المدخنة. الحقيقة أنني لم أفكر من قبل بما هو موجود هناك، لكنه مليء بالأنابيب التي تحمل الغاز الساخن من الموقد عبر المحرك، ألا وهو المرجل. ويحتل الماء معظم المساحة حول الأنابيب، مما يخلق شلالًا عملاقًا من سائل يغلي وذي فقاعات، ومع تسخين الأنابيب لهذا السائل ينتج البخار المكوّن من جزيئات ماء ساخن تصعد عموديًا في المساحة التي توجد في قمة المحرك بسرعات عالية جدًا، وتلك هي معظم فكرة المحرك البخاري؛ فرن وموقد ينتجان سحبًا من بخار الماء الساخن. فهذا التنين لا يتنفس نارًا بل يتنفس مليارات الجزيئات النشطة التي تتحرك جميعها بسرعات هائلة جدًا، لكنها محاصرة داخل المحرك. وتبلغ درجة حرارة الغاز إلى ما يقرب من ١٨٠ درجة مئوية، أما الضغط في أعلى المرجل فأعلى من الضغط الجوي بعشرة أضعاف. تخبط الجزيئات بقوة في جدران المحرك ولا يمكنها الإفلات إلا بعد أن تؤدي الغرض منها.

نزلنا من مقصورة التحكم وسرنا نحو المقدمة حيث المحرك المرتفع ونصف طن من الفحم والمِرجل الضخم والطاقم البشري، كلهم عاملون في خدمة ما وجدناه هناك؛ ألا وهو أسطوانتان تحتويان على مكابس، قطر كل منها ٥٠ سنتيمترًا تقريبًا وبطول ٧٠ سنتيمترًا، وهما تقبعان في المقدمة، وقد حجّمهما التنين الجاثم فوقهما، مما ينجز العمل الحقيقي. وتتم تغذية إحدى الأسطوانتين بالبخار الساخن ذي الضغط العالي في كل مرة على حدة، ولا يضاهي الضغط الجوي على الجانب الآخر من المكبس عشرة أمثال الضغط الجوي التي تنفسها التنين. وتضغط الجزيئات المتصادمة المكبس على طول الأسطوانة، ثم تنطلق أخيرًا إلى الجو، فيخرج صوت المحرك الهادر [تشو] وهو الصوت المألوف لمحرك القطار الذي نسمعه [تشو تشو تشو] عندما يقترب منا، فما أُنجز عمله هو إطلاق بخار الماء نحو الجو، إذ يحرك المكبس العجلات التي بدورها تمسك بالقضبان وتجرّ العربات. ونعلم أن محركات البخار بحاجة إلى كميات ضخمة من الفحم لتبقيها بحالة حركة، لكن لا أحد تقريبًا يتحدث عن الماء المستخدم في كل رحلة، فالفحم

البالغ وزنه ٥٠٠ كيلو غرام الذي يُجرف داخل هذا المحرك في كل رحلة إنما يُستخدم لتحويل ٤٥٠٠ ليتر من الماء إلى غاز يضغط على مكبس، ثم يتلاشى في الجو مع كل صوت هدير للمحرك [تشو] .

وحان الوقت أخيرًا لترك المحرك والعودة إلى أحد العربات لنعود إلى بيتنا، غير أن رحلة العودة كان لها شعور مختلف. أما سُحب البخار المارة على النوافذ فقد قدمت مساهمتها في نزهتنا أيضًا. وبدلًا من أن يظهر المحرك بصوت صاخب ومزعج، بدا المحرك الذي يجرنا هادئًا وخافت الصوت نسبيًا بالنظر لما يجري بداخله. سيكون من اللطيف لو تمكن أحد في يوم ما من صنع قطار بخاري من الزجاج حتى نرى جميعًا الوحش وهو في حالة عمل.

كانت ثورة المحركات البخارية في أثناء بداية العقد الأول من القرن العشرين، تدور حول استخدام دفع جزيئات الغاز لتقوم بعملية نافعة، وكل ما نحتاجه هو سطح بجزيئات غاز تضغط على جانب منه جزيئات الغاز بدفع أقوى من الجانب الآخر، ويمكن لهذه الدفعة أن ترفع غطاء وعاء ونحن نطبخ، أو يمكن استخدامها لنقل الطعام والوقود والناس، غير أنها تنبع من المبادئ الأساسية ذاتها. لم نعد نستخدم المحركات البخارية لكن مازلنا نستخدم تلك الدفعة، فالمحرك البخاري إنما هو تقنيًا «محرك احتراق خارجي» لأن الموقد منفصل عن المرجل. ويحدث الاحتراق داخل محرك السيارة في الأسطوانة، فالبنزين يحترق قرب المكبس وينتج الاحتراق ذاته غازًا ساخنًا لتسيير المكبس قدمًا، ويُصنّف هذا كمحرك احتراق داخلي. وفي كل مرة نركب سيارة أو حافلة فعلينا أن نتذكر أن دفع جزيئات الغاز هو ما يحملنا ويتحرك بنا.

من السهولة بمكان اللعب بتأثيرات الضغط والحجم، لا سيما إذا جلبنا قنينة ذات عنق عريض وبيضة مسلوقة ومنزوعة القشرة، ويجب أن يكون عنق القنينة أضيق بقليل من البيضة حتى تجثم فوق العنق من دون أن تسقط في القنينة، ثم نشعل ورقة ونسقطها داخل القنينة ونتركها تحترق لبضع ثوانٍ ونعيد البيضة لمكانها في أعلى القنينة. بعد برهة من الزمن سنرى البيضة تحشر نفسها لتدخل في القنينة. هذا غريب بعض الشيء، إذ أصبح من المزعج الآن أن البيضة قابعة داخل القنينة ولا تخرج. ثمة قلة من الحلول، وأحدها أن نقلب القنينة رأسًا على عقب حتى تستقر البيضة في العنق ثم نضع القنينة تحت ماء حنفية ساخن، وبعد وقت قليل ستخرج البيضة بسرعة.

تكمن قاعدة اللعبة هنا أن لدينا كتلة غاز ثابتة (في القنينة) وإمكانية لمعرفة ما إذا كان معدل الضغط في الداخل أعلى من ضغط الجو أو أقل منه. فإذا سدّت البيضة عنق القنينة أصبح حجم الغاز في الداخل ثابتًا، وإذا رفعنا درجة الحرارة عن طريق إشعال أي شيء فإن الضغط في الداخل سيزداد ويفلت الهواء من جانبي البيضة (إذا كانت البيضة تجثم في القمة). وعندما تبرد يقل الضغط في الداخل (طالما أن الحجم ثابت) وتندفع البيضة نحو الداخل، لأن الدفع من الخارج أصبح الآن أكبر من الدفع من الداخل. يمكننا تحريك البيضة فقط باستخدام تسخين الهواء في حاوية معينة وتبريده في حالة ثبات الحجم.

تتسم معدلات الضغط العالي في محرك البخار بالاستقرار والقابلية للتحكم، وهي مثالية لدفع المكابس وجعل العجلات تدور، لكن هذا ليس كل شيء. فلماذا نبدد الطاقة على مراحل ابتدائية بين الغاز والعجلات؟ ولمَ لا نترك غازات الضغط العالي تسيّر عرباتنا للأمام مباشرةً؟ هكذا تكون الطريقة الدائمة لعمل المسدسات والمدافع والألعاب النارية، مع أن أنواعها البدائية لم يكن أحد يعتمد عليها. لكن مع إطلالة العقد الأول من القرن العشرين تطورت التقنيات والطموحات، حين ظهر الصاروخ الذي يعدّ من أقصى أشكال الدفع المباشر التي اخترعتها البشرية على الإطلاق.

لم يحدث أدنى اعتماد على تلك التقنية الضرورية إلا عقب فترة الحرب العالمية الأولى، غير أنه بحلول ثلاثينات القرن العشرين كان بالإمكان إطلاق صاروخ يسير نحو الاتجاه الصحيح من دون أن يتسبب بقتل أحد في أغلب الأوقات. وكما هي الحال مع كثير من التقنيات الجديدة، جعله العلماء يعمل قبل أن يعلم أحد كيفية الاستفادة منه. وبزغ من بين ثنايا الابتكار البشري المتقد أمر جديد وحديث الطابع ومحكوم عليه بالفشل الذريع؛ ألا وهو البريد الصاروخي.

لم يحدث البريد الصاروخي على أرض الواقع إلا بسبب رجل واحد، ألا وهو غيرهارد زوكر. كان قلة من المخترعين وقتذاك يجربون التعامل مع الصواريخ، لكن زوكر قاد هذا الميدان بمثابرة صلبة وتفاؤل لا يلين في وجه ما تعرّض له من تثبيط متواصل. كان هذا الشاب الألماني شغوفًا بالصواريخ، وإثر عدم اهتمام الجيش (الألماني) بما يفعله تطلع إلى الاستخدام المدني للصواريخ كذريعة لمواصلة نشاطه. تراءى له أن العالم بحاجة ماسَة إلى إرسال البريد عبر الصواريخ، فهي وسيلة سريعة وقادرة على عبور البحر وتشع بريقًا حداثيًا. وقد

صبر الألمان على تجاربه (غير الناجحة) إلى أن طفح بهم الكيل، فجاء إلى المملكة المتحدة حيث وجد أصدقاءً ودعمًا من رابطة جمع الطوابع البريدية الذين أعجبتهم فكرة الطوابع الحديثة التي يرسلها نظام توصيل رسائل حديث وجديد من نوعه. سارت الأمور هكذا سيرًا حسنًا، فطلبوا منه، بعد إجراء اختبار صغير في مدينة هامشاير، التوجه إلى اسكتلندا في يوليو/تموز سنة ١٩٣٤ لعمل اختبار وإرسال صاروخه البريدي بين جزيرتي سكارب وهاريس.

لم يكن صاروخ زوكر معقدًا، فهيكله الأساسي أسطوانة معدنية كبيرة بطول متر واحد تقريبًا، ويحتوي في داخله على أنبوب نحاسي ضيّق مجهّز بفوهة في طرفه الخلفي ومليء بحشوة من مسحوق مادة متفجرة، وملأ المساحة بين الأنبوب الداخلي والأسطوانة الخارجية بالرسائل، وله مقدمة مدببة وفي داخلها زنبرك لولبي، نفترض أنه صُمّم لجعل عملية الهبوط لينة وسهلة، ومما يدل على طيبة زوكر أنه في المخطط الهيكلي وضع إشارة على العازل الرقيق بين المادة المتفجرة والرسائل القابلة للاشتعال بعنوان «تعليب من الصخر الحريري حول غلاف الحشوة، لمنع إلحاق الضرر بالرسائل». وُضِع الصاروخ بجانبه على دعّامة مائلة وموجّهًا نحو الأعلى وبدرجة انحراف معينة، وعند لحظة الإطلاق تشعل البطارية المادة المتفجرة لينتج الاحتراق كميات هائلة من الغاز الساخن ذي الضغط العالي، وبما أن جزيئات الغاز تتحرك بسرعة عالية فإنها ستتقافز مرتدةً من داخل الطرف الأمامي للصاروخ دافعةً إياه إلى الأمام، وفي الوقت ذاته لن يكون هناك دفع موازٍ في الطرف الخلفي، فالغاز سيفلت ببساطة من الفوهة إلى الجو. ويعمل هذا الانعدام في التوازن على الدفع بالصاروخ نحو الأمام بسرعة شديدة، ويستمر احتراق المتفجر لبضع ثوانٍ، وهو ما يكفي لانطلاق الصاروخ عاليًا في الهواء وفوق القناة المائية الواقعة بين الجزيرتين. لم يكن ثمة اهتمام كبير حول مكان هبوطه وكيفيته، فهذا أحد أسباب إجراء التجربة في طرف بعيد من اسكتلندا المحاطة بالبحر.

جمع زوكر ١٢٠٠ رسالة لإرسالها كجزء من التجربة، وزُخرف كلّ منها بطابع بريدي كُتب عليه «مركز بريد الجزر الغربية الصاروخي». فعبّأ أكبر عدد ممكن منها لكي يُحشر في صاروخه، وجهّز الدعامة، وأخذ جمهور محلي يتابعه باندهاش، وسُجل الحدث بكاميرات هيئة الإذاعة البريطانية القديمة. لقد حانت اللحظة.

عندما ضغط أحدهم على زر الإطلاق، أشعلت البطارية المادة المتفجرة وولّد الاحتراق السريع الخليط المتوقع من الغازات الساخنة داخل الأنبوب النحاسي، فأخذت الجزيئات النشطة تصدم مقدمة الصاروخ مسيّرة إياها نحو أعلى الدعامة بسرعة عالية. لكن بعد ثانيتين فقط سُمع صوت ارتطام عال وخامل واختفى الصاروخ خلف عمود من الدخان الذي مع انقشاعه شوهدت مئات الرسائل تتناثر أرضًا. الصخر الحريري قام بعمله هنا لكن الصاروخ لم يفعل، إذ تصعب السيطرة على الغاز ذي الضغط العالي، وقد كسرت الجزيئات النشطة التغليف. ألقى زوكر اللائمة على غلاف حشوة (خرطوش) المادة المتفجرة وشرع بالتقاط الرسائل واستعد لتجربة ثانية.

بعد بضعة أيام عملوا على تعبئة ٧٩٣ رسالة نجت من الصاروخ الأول، بالإضافة إلى ١٤٢ رسالة جديدة، في الصاروخ الثاني الذي أطلقوه من الجزيرة الأخرى هاريس باتجاه الجزيرة السابقة سكارب، غير أن الحظ خان زوكر، فقد انفجر الصاروخ الثاني من منصة الإطلاق وسُمع له هذه المرة صوت فرقعة أعلى من سابقه. فالتُقطت الرسائل مرة أخرى وأُرسلت إلى مستلميها عبر البريد التقليدي، وفيها علامات على حوافها كتذكار. تخلى المسؤولون عن التجربة، غير أن زوكر واصل بعناد في غضون السنوات القليلة التالية، وظل على قناعة دائمة بأن الفكرة ستنجح في المرة المقبلة، لكنها لم تفلح قط ، على الأقل في مجال البريد. سار زوكر بعيدًا باتجاه المجهول، وفقط لأننا رأينا ما آلت إليه الأمور نقول: (لا الزمان ولا المكان ولا الفكرة كانت مناسبة)، ولو توفر النجاح لهذه العوامل الثلاثة لكُنا الآن نحيي ذكرى زوكر كعبقري من العباقرة. لكن علم الصواريخ على نطاق صغير لم يتسم بالموثوقية، بل شابته الرعونة بمسألة توصيل الرسائل كوسيلة أفضل وأسرع من وسائل البرقيات والمواصلات العادية. على أن الرجل كان محقًا بفكرته، فاستعمال الغازات الساخنة عالية الضغط كوقود للدفع، يمتلك إمكانيات هائلة للانتقال من النقطة (أ) إلى النقطة (ب). لكن جهات أخرى استفادت من مبدئه ووجدت له تطبيقًا ملائمًا وحلّت مشكلاته العملية حتى توفرت له مقوّمات النجاح، إذ أصبح تطوير الصواريخ مجالًا تعمل عليه الجيوش مع استخدام الألمان لصواريخ (ڤي ١) و(ڤي ٢) في الحرب العالمية الثانية وفتحها الطريق لذلك، ثم اضطلاع برامج الفضاء المدني بهذه المهمة بعد ذلك.

أصبحت هذه الأيام صور الصواريخ العملاقة التي تحمل شحنات البضائع والبشر والمعدات نحو محطة الفضاء الدولية، أو وضع الأقمار الصناعية في مداراتها، أمرًا مألوفًا ومعتادًا. إن الصواريخ تظهر لنا جامحة وقوية بما يثير الخوف، وتُعدّ أنظمة التحكم الحديثة التي تجعل الصواريخ تعمل بأمان وموثوقية إنجازًا بشريًا ضخمًا، بيد أن الآلية الأساسية لكل الرحلات التي طارت نحو الفضاء كصاروخ ساتورن ٥ وكل رحلات صواريخ سويوز وآريان وفالكون ٩، كلها شبيهة بصاروخ البريد البدائي لغيرهارد زوكر، فإذا استطاع المرء تجهيز ما يكفي من غاز ذي ضغط عالٍ بسرعة كافية، فيمكنه أن يستفيد من قوة تراكمية هائلة تأتي من مليارات الجزيئات المتصادمة في محيطها. كان ضغط الغاز في طيران المرحلة الأولى من صاروخ سويوز أكبر من الضغط الجوي بستين ضعفًا، فبالتالي يكون الدفع أقوى بستين ضعفًا من الدفع الطبيعي لضغط الهواء، لكنها شبيهة تمامًا بنوع الدفع نفسه؛ جزيئات تصطدم بمحيطها وحسب، فيمكن لكميات هائلة منها أن تتصادم بوتيرة وسرعة كافيتين وترسل إنسانًا إلى القمر. فلا تقللوا من شأن الأشياء التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة.

تصاحبنا دائمًا جزيئات الغاز، وللأرض غلاف جوي يحيط ويصطدم بنا ويندفع باتجاهنا ويجعلنا كذلك على قيد الحياة، أما الأمر البديع في غلافنا الجوي أنه لا يتسم بالثبات، فهو يتحول ويتغير باستمرار، ولا نرى الهواء من حولنا، لكن لو أمكننا رؤيته لرأينا كتلًا ضخمة منه تسخن وتبرد وتتوسع وتتقلص ودائمًا في حالة حركة. وتملي قوانين الغاز، التي شهدنا عملها في هذا الفصل، ما على غلافنا الجوي أن يفعله، مثلها في ذلك مثل أية مجموعة جزيئات غازية. ومع أنها غير مشمولة في رئة الحوت أو المحرك البخاري لكنها لا تنفك عن الدفع. لكن طالما أن ما يحيط بها هواء فهذا يعني أن جزيئات الغاز تدفع باستمرار ، وتعيد ضبط نفسها حسب الظروف المحيطة. لسنا قادرين على رؤية التفاصيل كافة، لكنْ لدينا اسم لهذه العواقب والمآلات، ألا وهو الطقس.

إن أفضل مكان لمشاهدة عاصفة هو السهل المفتوح والكبير، إذ يتسم الهواء في اليوم السابق للعاصفة بالهدوء وتبدو زرقة السماء وصفاؤها في الأعلى كما لو أنها مستمرة إلى الأبد. تحتشد جزيئات الهواء غير المرئية معًا قريبًا من الأرض، ثم تتطاير نحو الأعلى أكثر، وتعمل دائمًا على الدفع والتشابك وإعادة الضبط والتدفق. ينتقل الهواء من مناطق الضغط العالي إلى مناطق الضغط المنخفض

مستجيبًا لعمليات التسخين والتبريد، ويظل دائمًا في حالة حركة من مكان إلى آخر، لكن عمليات إعادة الضبط والتصحيح تتسم بالبطء والسكينة، وما من إشارة دالّة على الكميات الهائلة من الطاقة التي تحملها الجزيئات.

يبزغ يوم العاصفة تمامًا كسابقه، لكن السماء تبدو أصفى، فلذا تسخن الأرض بسرعة أكبر، تأخذ جزيئات الهواء جزءًا من هذه الطاقة وتزيد سرعتها. يقترب بوقت مبكر من بعد الظهيرة جدارٌ عميقٌ من السحاب ويأخذ بالاتساع مع تحركه إلى أن يتمدد عبر الأفق، أما الطاقة فآتية قُدمًا. يعمل فارق الضغط على دفع صفحة ضخمة من البنية الغازية عبر أرجاء السهل، وتكمن المأساة في أن هذا التركيب لا يتسم بالاستقرار. ومع أن جزيئات الهواء تندفع بقوة اتجاه بعضها، إلا أنها لا تمتلك وقتًا لإعادة ترتيب نفسها مرة أخرى لوضعٍ أكثر توازنًا. إلى جانب ذلك تُدفع الكميات الهائلة من الطاقة بقوة هنا وهناك، فيتغيّر الوضع تغيرًا متواصلًا، ويعمل الهواء الذي سخّنته الأرض على الدفع نحو الأعلى شاقًا طريقه نحو السحاب ومكوّنًا أبراجًا تمتد عاليًا فوق الجدار.

إثر ظهور السحابة الرعدية يتغير لون السماء الأزرق ليتحول إلى غطاء منخفض قاتم، أما على الأرض فيُحاصر الناس في خضم الصدام الجاري في الأعلى. لا نستطيع أن نرى جزيئات الهواء لكننا نرى السحب تضطرب وتهتز، وهذه محض إشارة تدل على العنف الجاري بينها بسبب تلاطم حِزَم الهواء وطرْقها، لأن حالات انعدام توازن الضغط أصبحت من القوة بحيث إن إعادة الضبط أمست عملية سريعة ونشطة. ومع تبادل الطاقة مع جزيئات الهواء تبرد قطرات الماء وتنمو وتبدأ أولى قطرات المطر الكبيرة بالهطول، ثم تهب رياح شديدة مع تسارع جزيئات الهواء حتى على مستوى الأرض.

تذكّرنا السحب العاصفية الكبيرة بحجم الطاقة الكامنة في السماء الزرقاء، فنرى إشارات دالة على التصادم والتنقل، وتبدو لنا جامحة، لكنها تشير إلى التصادم والتنقل الحقيقي الذي يجري على المستوى الجزيئي فوق رؤوسنا. قد تمتص جزيئات الهواء الطاقة من الشمس، وتفقد طاقتها عند المحيط، وتكتسب طاقة من التكثيف مع تشكّل السحب أو تفقد الطاقة من خلال إشعاعها نحو الفضاء، وهي تقوم بالضبط المستمر طبقًا لقانون الغاز المثالي. يجعل كوكبنا الدوّار بسطحه المضطرب ومتعدد الألوان عمليات الضبط والتصحيح أكثر تعقيدًا، وكذلك تفعل السحب، والجسيمات الدقيقة، والغازات المحددة الحاضرة. والحقيقة أن نشرة

الأحوال الجوية ليست سوى وسيلة لتتبع المعارك الجارية فوق رؤوسنا وانتقاء تأثيراتها فينا هنا على الأرض. لكن الحركة المسببة لها لا تختلف عن تلك التي تستخدمها أنثى الفيل والصاروخ والمحرّك البخاري. كلها تعمل كتطبيق لقانون الغاز، الذي هو جزء لا يتجزأ من الفيزياء التي بدورها تجعل الفشار يفرقع، وتجعل كذلك الطقس يعمل.

الفصل الثاني: ما طار طير وارتفع، إلا كما طار وقع «الجاذبية»

يجري الفضول في أفراد عائلتي كمجرى الدم فيهم، فلا يسرّهم شيء أكثر من تفحّص أي أمر جديد يطرأ على الساحة، وهم يسعون دائمًا لتجربة الأشياء، ويفعلون ذلك من دون إحداث صخب أو جلبة. فلم يفاجئهم غيابي في المطبخ في أثناء وجبة غداء عائلية، لمهمة طارئة تتلخص بإيجاد قنينة ليموناضة وحفنة من زبيب. كان يومًا صيفيًا بديعًا وجلسنا جميعًا خارجًا في حديقة أمي بصحبة أختي وعمتي وجدتي ووالديّ. وقد وجدتُ واحدة من القناني البلاستيكية لليموناضة الغازية الرخيصة سعة ٢ ليتر، فنزعت ملصقها، ثم وضعت القنينة وسط الطاولة. كان ثمة من ينظر لهذا الجنون عن كثب لكن باهتمام طفيف، غير أنني حزت على انتباههم في نهاية المطاف، فأزلت غطاء العلبة وأسقطت كل حفنة الزبيب في القنينة محدثةً صوت أزيز من الرغوة ثم عندما زالت الفقاعات رأينا الزبيب يتراقص. ظننتُ أن هذا سيكون مسليًا لدقيقة أو دقيقتين فقط، لكن جدتي وأبي لم يقاوما التحديق باتجاه القنينة. لقد تحوّلت القنينة إلى مصباح من حمم الزبيب التي اندفعت بقوة من قاع القنينة نحو الأعلى وبالعكس، مع حركات التفاف دائرية مجنونة مع تصادمها ببعضها في الطريق.

حطّ عصفور على الطاولة لالتهام ما تبقى من الفتات، ثم نظر إلى القنينة بارتياب. أما أبي فأخذ ينظر إليها بارتياب من الاتجاه الآخر، وطرح السؤال الآتي: «هل يفعل هذا مفعوله مع الزبيب فقط؟».

الجواب نعم، ولسبب وجيه جدًا؛ فقبل نزع غطاء الشراب الغازي نلحظ بوضوح أن الضغط في الداخل أعلى من ضغط الهواء من حولنا، وفي لحظة فتح الغطاء يهبط الضغط داخل القنينة بسرعة. ثمة غاز مُذاب كثير في الماء يحافظ عليه الضغط العالي، لكن فجأة تمكن كل هذا الغاز من أن يفلت، ومشكلته فقط أنه بحاجة لمسار خروج. يصعب استحداث فقاعة غاز جديدة، إذ لا تجد جزيئات الغاز سبيلًا سوى الانضمام إلى فقاعة موجودة سلفًا، وما تحتاجه هو زبيبة، فالزبيب تغطيه تجاعيد مفيدة تأتي على شكل V ولا تملؤها الليموناضة تمامًا. وتوجد أسفل كل تجعيدة فقاعة أوليّة، أو ما يشبه جيبًا ضئيلا من الغاز، وهذا ما يفسر الاحتياج إلى الزبيب أو شيئًا آخر بهذا الصغر والتجعيد وأكثر كثافة بقليل من الماء. يفيض الغاز خارجًا من الليموناضة لداخل تلك الفقاعات الأولية فتصنع كل زبيبة لنفسها

ما يشبه سترة نجاة فقاعية (أو فوارة) تبقى عالقة بالزبيبة. والزبيب بطبيعته أكثر كثافة من الماء فيسهل على الجاذبية جرّه نحو الأسفل، لكن عقب تكوين بعض الفقاعات تصبح الكثافة الإجمالية أقل فتبدأ رحلتها صعودًا نحو القمة التي حال أن تصلها تفرقع الفقاعات المخترقة للسطح، ويمكن رؤية الزبيب يتساقط من الأعلى مع تصعيد الفقاعات أسفلها نحو الأعلى لتفرقع هي الأخرى بالمقابل. وفي حال عدم تبقي أية «سترات نجاة» أخرى يصبح الزبيب أكثر كثافة من الليموناضة، فتهبط إلى أسفل القنينة، وسيستمر هذا الحال إلى أن يخرج ثاني أكسيد الكربون الزائد كله من الليموناضة.

بعد نصف ساعة من هذا الاستعراض الذي زيّن وسط الطاولة بالفوضى، هدأت الرقصة المسعورة لتصبح محض نزهة متأنيّة نحو السطح، وتحولت الليموناضة إلى لون مصفر يثير الاشمئزاز، وانتكست تلك الغزارة العائمة لتغدو شيئًا أشبه بعينة بول كبيرة، وذباب ميّت في أسفلها.

جربوها بأنفسكم، فهي طريقة جيدة لنشر المرح في أية حفلة أو لقاء يشوبه شيء من الضجر في حال وجود زبيب أو مشمش مجفف في أطعمة الحفلة. والأساس هنا أن الفقاعات والزبيب يتحدان ليصبحا جسمًا واحدًا ويتحركا كجسم واحد. فإذا ملأنا الزبيب بجيوب هوائية صغيرة فلا نكاد نجعلها أثقل من وزنها الأصلي لكن الجسم كله سيستحوذ على مساحة أكبر. نسبة المادة إلى الحجم المملوء هي الكثافة، فجسم الزبيبة زائد الفقاعة هو مكوّنٌ أقل كثافة من الزبيبة وحدها. لا يمكن للجاذبية سوى سحب «الأجسام» للأسفل، فلذا الأشياء الأقل كثافة تقل نسبة جذبها للأرض، ولهذا تطفو بعض الأجسام، فالطفو هو نتيجة اختلافات تراتبية في الجذب لاختلافاتٍ في الكثافة. تسحب الجاذبية السوائل نحو الأسفل، وأي جسم أقل كثافة في السائل يطفو إلى الأعلى. ونقول إن أي شيء أقل كثافة من السائل يطفو.

إن الفراغات المليئة بالهواء مفيدة فعلًا للسيطرة على الكثافة النسبية، وبالتالي الطفو. ولعل إحدى أشهر مميزات التصميم الذي كان يفترض أنه يجعل من سفينةِ تيتانيك سفينةً غير قابلة للغرق؛ تلك الحجرات الضخمة المقاومة لتسرب الماء التي احتلت جزءًا من أسفل السفينة، إذ كانت تعمل كعمل الفقاعات على الزبيبة، أي تعمل كجيوب هوائية تجعل السفينة عائمة أكثر وتحافظ عليها لتطفو، إلا أنه عندما وقعت المشكلة ظهر جليًا أن تلك الحجرات لم تكن منيعة ضد تسرب الماء،

ومع امتلائها بالماء كانت النتيجة شبيهة بقفز آخر الفقاعات القليلة على السطح، وكان قَدَر تيتانيك الغرق نحو الأعماق كقدر الزبيبة التي افتقدت سترة نجاتها.
نتقبل أن الأشياء تغرق وتطفو لكننا نادرًا ما نفكر بالمسبب الحقيقي، ألا وهو الجاذبية. إن أحوال حياتنا تحدث في محيطٍ تهيمن عليه هذه القوة الخالدة التي دائمًا ما توضح بجلاء معنى كلمة «أسفل». إنها مفيدة ورائعة، فهي بدايةً تحافظ على كل الأشياء منتظمة بإبقائها في القاع، لكنها كذلك القوة الوحيدة والأكثر وضوحًا لممارسة اللعب معها. تتسم قوى [الطبيعة] بالغرابة، فلا يمكننا رؤيتها ويصعب معرفة ما ستفعله لاحقًا. أما الجاذبية فدائمًا موجودة وبالقوة ذاتها (على سطح الأرض على الأقل)، وتتجه نحو الاتجاه ذاته. وإذا أراد المرء اللعب مع القوى فالجاذبية مكان رائع للبدء بذلك. وهل من لعبة أفضل من لعبة السقوط لنبدأ بها؟
تتبوأ رياضة الغطس مِن على المنصتين الثابتة العالية والمتحركة، مكانةً ما بين الحركة الحرة التامة والجنون المطلق، ففي اللحظة التي يقفز فيها الغطّاس من على المنصة يتحرر تمامًا من الشعور بالجاذبية، ولا يعني ذلك أنها اختفت، بل كل ما في الأمر أنه يخضع لها تمامًا، إذ ما من شيء يعمل مقابل ذلك على الدفع المضاد، ويمكن للغطاس أن يستدير ليبدو كالجسم الحر نظريًا، وكأنه يطفو في الفضاء، وهي حالة من التحرر الجسماني مدهشة للعقل. لكن لا وجود لشيء مجاني في هذه الدنيا، فستظهر المشكلة بعد ثانية أو بعدها بقليل حين يقترب من سطح الماء، وهنا أمامه أحد حلين للتعامل مع الوضع، فإما أن يُحدث شقًا صغيرًا في الماء بيديه أو قدميه وينظّم نفسه بحيث يترك بقية جسده ينزلق بسلاسة داخل هذا الشق مقللًا بذلك انتثار الماء المتطاير، أو بوسعه ترك ذراعيه ورجليه وبطنه أو ظهره ليحدثا الاصطدام العشوائي مولّدًا من جراء ذلك انتثارًا كبيرًا للماء، والحل الثاني مؤلم جدًا!
مارستُ رياضة الغطس من على المنصة المتحركة، وكنتُ مدربةً لها بضع سنين في العشرينات من عمري، لكنني كرهتُ الغطس على المنصة الثابتة العالية. فالمنصة المتحركة هي التي فيها حركة النطّ وارتفاعاتها من سطح المسبح ١ متر و٣ متر فقط، وتشبه رياضة قفز الترامبولين، وإن كانت بهبوط سلس. أما المنصات الثابتة فهي التي تعلوها فتبلغ ارتفاعاتها ٥,٧٥ متر و١٠ أمتار، ولم يُجهز حمام السباحة الذي تدربت عليه سوى بمنصة ارتفاعها خمسة أمتار، بيد أنني فعلت كل ما بوسعي لتجنبها!

يبدو الماء من على المنصة التي يبلغ ارتفاعها خمسة أمتار بعيدًا جدًا، ودائمًا ما يظهر تدفق رفيع من الفقاعات تأتي من الأسفل لكي نرى مكان سطح الماء حتى لو كان حمام السباحة راكدًا تمامًا. أما غطسة التسخين الأساسية فتُسمى «السقطة الأمامية»، ومعناها يدل عليه مسماها بالضبط. فيقف اللاعب على طرف لوح القفز ويثني نفسه للأمام بمد يديه وإغلاقهما معًا فوق رأسه على شكل حرف L «إلـ» بالإنكليزية، وإبقاء جسمه للأمام متقدمًا بانحناءة نحو أوراكه. تبدو الأشياء أقل إثارة للخوف نوعًا ما من هذا الموقع، لأن رأس اللاعب قريب من الماء لكن ليس كثيرًا. ثم يرفع نفسه على رؤوس أصابعه ويستسلم للسقوط. يشعر فجأةً أنه حر، ولا يوجد سوى هو وكوكب بكتلة وزنها ٦ مليون مليار مليار كيلوغرام، وغير مربوطة سوى بهذا الشيء الذي يُسمى الجاذبية، وتعني قوانين الكون أن الأجسام تنجذب نحو بعضها.

تغيّر الجاذبية، مثلها مثل أية قوة أخرى، من سرعة الأجسام، فهي تجعلها متسارعة، وهذه نتيجة من نتائج قانون نيوتن الثاني الشهير الذي ينص على أن مجموع القوى التي تؤثر في أي جسم تغيّر من سرعته. عندما يقفز اللاعب من لوح الغطس، فإنه يتدرّج من كونه ثابتًا أولًا، فيبدأ بحركة بطيئة. الأمر المثير للاهتمام حول التسارع أنه يُقاس بوحدات تغير السرعة كل ثانية. فعند البدء فإن اللاعب يأخذ بالانطلاق بتدرّج، فيستغرق زمن سقوطه عبر المتر الأول وقتًا طويلًا نسبيًا (٠,٤٥ ثانية)، لكنه ينطلق مع المتر الثاني بسرعة أكبر ليصبح وقت التسارع به أقصر على الطريق، وبعد مسافة متر واحد تغدو سرعته ٤,٢ متر في الثانية، على أنه بعد مترين تصبح سرعته ٦,٢ متر في الثانية.

وهكذا يمضي اللاعب معظم وقته في أثناء الغطسة في المكان الأسوأ وهو مرتفع فوق الماء، فهو لا يسقط سوى لمسافة ١,٢٢ مترًا في النصف الأول من الوقت الذي يقطعه في الهواء على منصة الخمسة أمتار، وتجري الأمور بعد ذلك بسرعة شديدة، فالسقوط من مسافة ٥ أمتار كاملة يستغرق ثانيةً واحدة، وبنهاية تلك السقطة ينتقل اللاعب بسرعة ٩,٩ متر في الثانية، فيمدد جسمه كاملًا ويصل إلى الماء، ويأمل أن يوفق بولوج خالٍ من انتثار شديد للماء.

عندما يأتي موعد المسابقات يتوق لاعبو الفريق لانتهاز فرصة التنافس من منصات الغطس الأعلى مهما كان حمام السباحة الذي يرتادونه، إلا أنا. فما أقلقني أنه كلما زاد الوقت في الهواء زاد احتمال وقوع الأمور الخاطئة، غير أن هذا

التصوّر لم يكن منطقيًا على وجه الدقة، لأن اللاعب ينتقل بسرعة معينة بتلك السقطة، بحيث إن المسافة الإضافية لا تُحدِث معه فارق سرعة ملحوظ، فمسافة ٥ أمتار تستغرق ثانية واحدة للسقوط، أما مسافة ١٠ أمتار فتستغرق فقط ١,٤ ثانية، فلا تزيد السرعة سوى بنسبة ٤٠ بالمئة، حتى وإن كان اللاعب يسقط ضعف المسافة. كنتُ أدرك ذلك، لكنني أمضيت ما يقرب من أربعة أعوام بوصفي غطاسة، ولم أقفز قط من منصة قفز أعلى من ٥ أمتار. لم أخف من الارتفاعات، بل خفتُ من الاصطدامات بالماء، فكلما طال أمد عمل الجاذبية على تسريعي، قلّت السلاسة في أثناء مرحلة التباطؤ غالبًا. فحتى سقوط الهاتف المحمول من يد صاحبه يُعدّ تذكيرًا أن ترك الجاذبية تتولى زمام الأمور ليس فكرة حكيمة. ما زالت المسافة الزائدة للسقوط توفّر فرصةً لسرعة زائدة... سوى عندما لا تفعل ذلك.

ثمة حدود على الأرض لما يمكن أن تفعله الجاذبية بالناس، ذلك أنهم يتسارعون حسب القوة الإجمالية المنصبّة عليهم فقط، ويُطلق على ذلك مصطلح القوة المحصلة . فمع ازدياد السرعة يتحتم إزاحة مزيد من الهواء عن الطريق في أثناء فترة معينة، ويعمل هذا الهواء في الوقت نفسه على الدفع المضاد، وهذا يعمل على إضعاف قوة تأثير الجاذبية لأنها تعمل في الاتجاه المعاكس. يتوازن هذان العاملان في نقطة معينة وسيتحرك الجسم بسرعة حديّة مع عدم قدرته على الإسراع أكثر من ذلك. وبالنسبة إلى أوراق الشجر والمناطيد والهبوط المظلي، فإن قوة الهواء الذي يدفع دفعًا مضادًا أكبر بكثير إذا ما قورنت بالسحب الجذبي الضعيف، وبذلك يصل توازن القوة إلى سرعة منخفضة نسبيًا. أما بالنسبة إلى الإنسان البشري فإن السرعة الحديّة القريبة من الأرض تبلغ ١٢٠ ميلًا في الساعة، ولسوء حظ أي إنسان يسقط، فإن مقاومة الهواء طفيفة للغاية إلى أن يصل إلى سرعات عالية جدًا، وهي قطعًا لا تدفع دفعًا مضادًا بما يكفي لطمأنتي بالقفز من المنصة العالية ذات الارتفاع الذي يصل إلى ١٠ أمتار، إلى يومنا هذا.

***

تتمحور بحوثي العلمية حول فيزياء سطح المحيط، فأنا عالمة تجريبية، ويتطلب عملي الخروج للمحيط وقياس ما يحدث في الحد الجميل والفوضوي والفاصل بين الهواء والبحر، وهو ما يعني قضاء أسابيع كاملة على ظهر سفينة بحث علمي تشبه قرية متنقلة فنية طافية على سطح البحر. وتمثلت المشكلة في المعيشة على

سفينة أن المرء يتحتم عليه التعايش مع نوع من الجاذبية مشوب بالخلل، إذ تصبح كلمة «أسفل» مفهومًا غير يقيني، فقد تسقط الأجسام بالسرعة والاتجاه ذاته كما تسقط من أي شخص على اليابسة، لكنها مع ذلك قد لا تسقط هنا، فإذا شاهد أحدنا شيئًا غير مثبّت على الطاولة فنشك بثباته في مكانه. إن الحياة في البحر مليئة بالمطاطيات المرنة والخيوط والحبال والفَرْشات اللاصقة بالأرضية والأدراج المغلقة، وهي الأشياء التي تعين على جعل الحياة منظمة عند شد أية قوة مفاجئة للأجسام في اتجاهات غير متوقعة. ويدور موضوع بحثي حول الفقاعات التي تنتجها موجات الارتطام في العواصف، وهكذا قضيتُ شهورًا وأنا أعيش في البحر تحت ظروف بالغة السوء، لكن أعجبني الوضع كثيرًا، فالمرء يتأقلم معها بسرعة، إلا أنها درس مفيد لمدى تعاملنا مع الجاذبية بوصفها أمرًا مفروغًا منه. اعتاد الضابط المسؤول عن السفينة في إحدى سفن البحث العلمي المتجهة نحو القطب الجنوبي أن يحمسنا لإجراء التمارين الرياضية ثلاث مرات بالأسبوع، فكنا نتجمع في المخزن الذي هو مساحة في باطن السفينة السفلي، فنمارس القفز والرفع والوثب لمدة ساعة بكل طاعة وانصياع. لعلها التمارين الرياضية الأكثر فاعلية التي مارستها في حياتي، لأنني لا أعلم إطلاقًا القوة التي سأقاومها في التمرينات. فلعل أول ثلاثة تمارين مِعدة كانت يسيرة للغاية لأن السفينة تمور نحو الأسفل بما يقلل الجاذبية بفاعلية، وشعرت بحالة نفسية جيدة عندما جاءني العقاب مع اقتراب السفينة من العلوّ فوق موجة، إذ وصلت الجاذبية في هذه اللحظة إلى نسبة أقوى بـ٥٠ بالمئة، وبدأتُ أشعر فجأةً كما لو أن على عضلات بطني أن تقاوم أشرطة مطاطية تعمل على استدارتي فوق أرضية السفينة... وأية حركة في هذه اللحظة تتضمن قفزًا هي أسوأ من ذلك، لأنني لم أعد متأكدة أين هي الأرض بالضبط، ثم بعد ذلك تأتي مشكلة الاستحمام، حيث نضيع وقتًا بملاحقة تدفق الماء حول كبينة الاستحمام لأن دوران السفينة يجعل من المستحيل توقّع مكان سقوطها.

بطبيعة الحال لم يكن ثمة خلل بالجاذبية ذاتها، فكل شيء في تلك السفينة يُسحب نحو مركز الأرض بالقوة نفسها، لكننا عندما نشعر بقوة الجاذبية فإننا في الحقيقة نقاوم تسارعًا، فإذا كان ما يحيط بنا يتسارع من تلقاء نفسه كعلبة عملاقة نعيش فيها وتتقاذفها [قوى] الطبيعة، فإن أجسامنا لا تستطيع تمييز الفارق بين التسارع الجذبي وأي تسارع آخر يجري، وبالتالي نحصل على ما يسمى «الجاذبية الفعّالة» ؛ وهي ما نشعر بها من دون الاهتمام بمصدرها، لهذا لا يحدث الشعور الغريب

بدخولنا للمصعد إلا في بداية تحركه ونهايته، وذلك عندما يتسارع المصعد وصولًا إلى سرعته القصوى، أو عند الإبطاء (تسارع سالب) قبيل توقفه. ولا يستطيع جسمنا أن يميز الفارق بين تسارع المصعد والتسارع المنسوب إلى الجاذبية ، فلذا نحن نواجه «جاذبية فعالة» منقوصة أو زائدة، ويمكننا خلال جزء من الثانية أن نختبر كيف تكون حياتنا بكوكب آخر ذي حقل جاذبية مختلف.

لحسن الحظ، فنحن أحرار من هذه التعقيدات معظم وقتنا، فالجاذبية ثابتة ومستمرة وتتوجه نحو مركز الأرض، ومعنى «أسفل» أنه اتجاه سقوط الأجسام، وحتى النباتات تعرف ذلك.

إن أمي بستانية فَطِنة، وهو ما مكنني عندما ترعرعت أن أحظى بفرص عديدة لزراعة البذور وقطع الحشائش الزائدة، وأن أجعّد أنفي اشمئزازًا من دود البزّاق، وأقلّب أكوام السماد المخلوط، وأتذكر إعجابي الشديد بالشتلات لأنها تعرف بوضوح الأعلى من الأسفل. فغشاء البذرة يتفتح في أعماق ظلمات التربة وتزحف جذور جديدة شاقة طريقها نحو الأسفل، فيما تنقّب بتلة ناشئة عن مسارها نحو الأعلى. بإمكانكم رفع شتلة صغيرة للأعلى وملاحظة ترددها أو تنقيبها، فالجذر مضى مباشرة للأسفل والبتلة ذهبت مباشرة للأعلى. فكيف لها أن تعرف ذلك؟ عندما كبرتُ قليلًا أدركتُ الإجابة، وهي بسيطة بساطةً تدعو إلى السرور. لقد ظهر أنه في داخل البذرة خلايا تُسمى أكياس التوازن التي تشبه لعبة كرة ثلج نباتية مصغّرة، وتوجد في كلٍ منها حبوب نشاء خاصة، كثافتها أكبر من بقية الخلية وتقبع في قاعها، فتشعر شبكات البروتين بمكانها، وكذلك البذرة التي ستنمو لاحقا لتصبح نبتة، وتعرف أي طريق يؤدي نحو الأعلى. في المرة القادمة التي تزرعون فيها بذرة اقلبوها وفكروا بكرة الثلج المصغّرة داخلها، ثم ازرعوها بأية طريقة ترغبون بها، وسترون أنها ستنمو نحو الأعلى، لأن النبتة يمكنها حل هذا اللغز.

إن الجاذبية من الأدوات المفيدة والرائعة، وخطوط الشاقول وموازين التسوية رخيصة ودقيقة، ويتيسر النزول إلى «الأسفل» من كل مكان في العالم، إلا أنه إذا كان كل جسم قادرًا على جذب كل جسم آخر، فماذا عن الجبل الذي أراه من مسافة ما؟ ألا يجذبني نحوه؟ ما هو الشيء المميز جدًا بمركز الكوكب؟

أعشق منظر ساحل البحر لكثيرٍ من الأسباب (الأمواج والفقاعات وغروب الشمس ونسائم البحر)، بيد أن أكثر ما أعشقه هو ذلك الشعور العظيم بالتحرر من خلال

احتضان البحر الرحب. حينما عشتُ في كاليفورنيا سكنتُ في بيت صغير وقريب جدًا من الشاطئ، بحيث أمكننا سماع صوت الأمواج ليلًا. كان يوجد شجرة برتقال في الحديقة الخلفية وشُرفة لمتابعة سير حركة الدنيا. أما الفخامة الكبرى في نهاية يوم مليء بالانشغالات فتتمثل بالمشي إلى نهاية الطريق والجلوس على صخور متآكلة وملساء، والتطلع نحو المحيط الهادئ. كنتُ طفلة صغيرة عندما مارست مثل هذا الشيء في إنكلترا، فكنتُ أراقب السمك أو الطيور أو الأمواج الكبيرة فقط، لكن عند مشاهدتي للمحيط من مدينة سان دييغو تخيّلتُ الكوكب في ذهني.
إن المحيط الهادئ شاسع جدًا ويستحوذ على ثُلُث محيط دائرة الأرض على خط الاستواء. واستطعتُ وأنا أمعن النظر نحو غروب الشمس أن أتخيّل الكرة الصخرية العملاقة التي كنت أعيش عليها، فمنطقة ألاسكا والقطب الشمالي البعيد على يميني من ناحية الشمال، وجبال الأنديز الممتدة حتى القطب الجنوبي على يساري من ناحية الجنوب. وكدتُ أن أصيب نفسي بدوخة ودوار وأنا أتصور ذلك في رأسي. وقد حدث ذات مرة أنني واجهت مباشرة تلك الأماكن كلها، فكل واحدة منها تشدني وأنا أشدها، فكل جزء من كتلة يجذب كل جزء من كتلة أخرى. إن الجاذبية لهي من القوى الضعيفة للغاية، فحتى أصغر الأطفال بمقدوره أن يولّد قوة تقاوم سحب جاذبية كوكب بأسره. ومع ذلك، ما زالت كل شدة من هذه الشدّات الضئيلة موجودة، ويعمل عدد لا حصر له من الشدّات الدقيقة على تعزيز تلك القوة المفردة، ألا وهي الجاذبية التي نواجهها.
تلك هي الخطوة التي اتخذها العالم العظيم إسحق نيوتن عندما نشر قانون الجذب العام في كتابه الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية؛ الشهير بعنوانه المختصر «الأصول»، في سنة ١٦٨٧. وقد برهن من خلال استخدامه للقاعدة التي تنص على أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب عكسيًا مع حاصل ضرب المسافة بين مركزيهما، على أننا إذا راكمنا قوة سحب كل جزء في الكوكب فإن كثيرًا من عمليات السحب الجانبية يُلغي بعضُها بعضًا، ولا ينتج سوى وجود قوة تشد نحو الأسفل، وموجهة نحو مركز الكوكب، وتتناسب طرديًا مع كتلة الأرض وكتلة الجسم الذي يصير عرضة للسحب. أما الجبل الذي يبتعد مسافة الضعفين فلن يجذب الأجسام إلا برُبع معدل القوة. ولهذا تقل أهمية الأجسام البعيدة في هذه المعادلة، غير أنها ما تزال داخلة في الحسبان. وفي أثناء جلوسي للاستمتاع بمشاهدة غروب الشمس، أتعرض للسحب الجانبي من ناحية الشمال وقليلًا من

ناحية الأسفل عن طريق ألاسكا، وجانبيًا من ناحية الجنوب، بالإضافة إلى ناحية الأسفل قليلًا عن طريق جبال الأنديز، لكن عمليات السحب من ناحيتي الشمال والجنوب تلغي بعضُها بعضًا، ولا يتبقى سوى عمليات الجذب نحو الأسفل.

على الرغم من أن جبال الهملايا ودار أوبرا سيدني ومركز الأرض الداخلي وكثير من الحلزونات البحرية تجذبنا (في هذه اللحظة)، إلا أنه لا يتعيّن علينا معرفة تلك التفاصيل، فالتعقيدات تنظم نفسها ذاتيًا وتتركنا مع أداة بسيطة، ولكي أتوقع جذب الأرض لي فيلزمني فقط أن أعرف مدى بعد مسافة مركزها وكتلة الكوكب بأكمله. يكمن جمال نظرية نيوتن في بساطتها وأناقتها وفعاليتها.

على أنه من صحيح القول إن تلك القوى تتسم بالغرابة، وقد اعترى تفسير نيوتن للجاذبية، مع كونه تفسيرًا بارعًا، عيبًا جوهريًا؛ وهو عدم وجود آلية له. فمن الواضح والصريح الإقرار بأن الأرض تجذب التفاحة ، لكن ما الذي يُحدث عملية الجذب ذاتها؟ فهل هناك خيوط غير مرئية؟ أو جنيّات مثلًا؟ لم تُحل هذه المسألة حلًا مرضيًا حتى ابتكر آينشتاين النظرية النسبية العامة، لكن خلال الـ٢٣٠ عامًا وما بينهما ظل نموذج نيوتن للجاذبية مقبولًا (وما زال يُستخدم على نطاق واسع ليومنا هذا) لأنه يتمتع بفاعلية مدهشة.

لا نستطيع رؤية قوى [الطبيعة]، لكن ما من مطبخ إلا ويحتوي على جهاز لقياسها، ذلك لأننا بحاجة إلى شيء مهم لإكمال عملية الطبخ (لا سيما صنع الخبز)، وهو شيء لا يذكره أي كتاب لامع لوصفات الطهي، وهو ضروري لأن الكمّيات تشكّل أهمية بحد ذاتها، فعلينا أن نقيس الأشياء وأن نفعل ذلك بدقة وحرص. أما العنصر الحاسم الذي لا يذكره أحد والذي يسمح بعمل ذلك فهو بسيط، شيء (أي شيء) بحجم كوكب. لحسن حظ جميع عشاق كعك الإكليس والكعكة الإسفنجية وكعكة شوكولاتة الجاتوه أننا نجلس فوق مثل هذا الكوكب بالضبط.

بحوزتي دفتر دونت فيه بخط يدي وصفات طهي كثيرة أضفتها منذ أن كان عمري ثمانية أو تسعة أعوام، ويطيب لي بين الحين والآخر أن أعود للوصفات القديمة منذ طفولتي، إحداها كعكة الجزر المكتوبة في صفحة مُخربشة من الدفتر وقد لطّختها السنين، وتبدأ الوصفة بكتابة تعليمات تقتضي توفير ٢٠٠ غرام من الطحين. وهكذا يصنع الخباز أمرًا ذكيًا جدًا نعدّه شيئًا مسلّمًا به، إذ يضع بعض الطحين في وعاء ويقيس مباشرةً كم تجذب منه الأرض، وهذه وظيفة الميزان، فنحن نضعها في فجوة بين الكوكب الفسيح والوعاء الصغير، ونقيس مستوى

الانضغاط أو الحشر. والجذب بين الجسم وكوكبنا يتناسب طرديًا مع كتلتيهما، وبما أن كتلة الأرض غير متغيرة فيعتمد ذلك الجذب على كتلة الطحين الذي مرّ في الوعاء وحده. تقيس الموازين الوزن وهو معدل القوة بين الطحين والكوكب، بيد أن الوزن هو مجرد حاصل ضرب كتلة الطحين بقوة الجاذبية الثابتة في مطابخنا. فإذا قسنا الوزن وعلمنا قوة الجاذبية فيمكننا استنتاج كتلة الطحين في الوعاء. ثم نحتاج إلى ١٠٠ غرام من الزبدة فنضعها في الوعاء حتى تصبح قوة الانضغاط (أو الحشر) نصف ما كانت عليه من قبل. إنه أسلوب ناجع ورائع وشديد البساطة للحصول على مقدار «المادة» التي بحوزتنا، وهو أسلوب يصلح لكل شخص يعيش على هذه الأرض. إن الأجسام الثقيلة لا تصبح ثقيلة إلا لأنها تحتوي على «مواد» أكثر، ولهذا تجذبها الأرض بقوة أكبر. ولا شيء ثقيل في الفضاء، لأن ضعف الجاذبية الموضعية الشديد يمنعها بشكل ملحوظ من سحب الأشياء نحوها، اللهم إلا إذا كان المرء قريبًا جدًا من كوكب أو نجم ما.

بيد أن حقيقة ما تُطلعنا عليه تلك المكاييل الخاصة بالمطابخ أن الجاذبية، وهي القوة العظمى التي تعمل على تماسك كوكبنا ونظامنا الشمسي وتهيمن على حياتنا، إنما هي ضعيفة وهزيلة بما لا يكاد يتخيله عقل. إن كتلة الأرض يبلغ وزنها ٦ X 1024 كيلو غرام (أي ستة آلاف مليار مليار طن، لمن يفضل هذه الوحدات)، وليست قادرة على سحب وعائنا المليء بالطحين سوى بقوة شريط مطاطي صغير، وهذا من دواعي السرور، وإلا فإن الحياة ستصبح لا تطاق. لكن ذلك يضع الأمور في نصابها الصحيح شيئًا ما، فكل مرة نلتقط فيها جسمًا فإننا نقاوم سحب الجاذبية للكوكب بأسره. أما النظام الشمسي فهو ضخم بسبب ضعف الجاذبية، على أن الجاذبية تمتلك فعلًا سمة كبرى تميزها من القوى الأساسية الأخرى جميعها، ألا وهي قدرتها على الامتداد والانتشار والوصول. قد تبدو ضعيفة ويزداد ضعفها مع ابتعادنا أكثر فأكثر عن الأرض، لكنها ما تنفك عن التمدد عبر مسافات الفضاء الشاسعة وشدّ الكواكب والشموس والمجرات معًا. وكل شدة منها تتسم بالضآلة، لكن هذه القوة الهشة هي ما يمنح كوننا بنيانه وتركيبه.

حتى التقاط كعكة الجزر الجاهزة يتطلب مع ذلك مجهودًا، فعند وضع الكعكة على الطاولة فإن سطح الطاولة يدفعها باتجاه الأعلى بما يكفي لإيجاد توازن بعملية السحب الجاري بين الكعكة والكوكب. وإذا أردنا التقاطها ورفعها فيلزم توفير ذلك القدر من القوة إضافة إلى قوة أكثر قليلًا بما يجعل القوة الإجمالية المحركة للكعكة

متجهة نحو الأعلى. إن حياتنا لا يسيطر عليها حركة قوة معينة وسلوكها بمفردها، إنما بما هو زائد على نقطة التساوي، وهذا يبسّط الأمور إلى حد بعيد. يمكن تحييد القوى الهائلة إن وضِعت بمواجهة قوى هائلة أخرى، وأسهل الأماكن التي تساعدنا على تأمل هذه الحال الأجسام الصلبة لأنها تحافظ على شكلها عندما تُسحب. ويُعدّ برج الجسر في لندن جسمًا صلبًا بالفعل.

قد تصبح الجاذبية مزعجة أحيانًا، لأننا نريد - ربما- الإمساك بشيء في الهواء، لكن لا بد من مقاومة الجذب المتجه نحو الأسفل لنفعل ذلك، وقد يتهشم على الأرض كل شيء نمسكه إن فشلنا في مقاومة جذب الأرض للأشياء، ومن طبائع الأمور تدفق الموائع نحو الأسفل، وتختلف الأشياء بالنسبة إلى الأجسام الصلبة. ثم مفهوم محور الارتكاز يجعلنا نحيّد فاعلية الجاذبية من خلال وضع أشياء ثقيلة في شطر واحد من لعبة أرجوحة التوازن ، أما الشطر الثاني الغامض من اللعبة فهو مَخْفِيٌّ عمدًا وبذكاء، وما من نموذج أفضل لذلك من برجي الجسر البهيّين في لندن. يشرف هذان البرجان، اللذان شُيّدا على جزيرتين صناعيتين كلٌّ على بعد ثُلث المسافة عبر نهر التايمز، على لندن من البحر، ويحملان الطريق الذي يصل شمال المدينة بجنوبها.

يزدحم الرصيف بما يشبه مهرجانًا مختلطًا من السُيّاح المنهمكين بكاميرات التصوير الحركي، مع مظاهر أخرى كسيارات أجرة لندن، وبائعي القطع التذكارية، وأكشاك القهوة، وممارسي المشي مع كلابهم، والحافلات في خلفية الصورة. يقطع دليلنا السياحي كل الفوضى ونسير خلفه بخطوات قصيرة كطابور البط الصغير والمطيع الذي يسير خلف أمه، فيفتح بوابة حديدية في قاعدة أحد البرجين، ثم يرشدنا نحو ركن حيث نلج نوعًا من أنواع الحدائق الأنيقة والمصنوعة من الصخور، وفجأةً يعم السكون. يكاد صوت تنفس الصعداء لمن يتبعه أن يُسمع بوضوح لتخلصهم من إطباق السيّاح الآخرين عليهم ووصولهم إلى مقصدهم غانمين، فإذا هم أمام أزرار نحاسية مرقّمة وعَتَلات ضخمة وصمامات موثوقة الشد تنتمي لزمن هندسة العصر الفيكتوري الصلب. يعرف العالم شكل برجي لندن الخارجي الجميل واللطيف، إذ يظهران كقلعتين من قصص الخيال الساحرة، لكننا أتينا إلى هذا المكان لنرى ما يخفيه داخله، ألا وهو الأجزاء الداخلية الهائلة لهذا المبنى الأنيق والعظيم.

ظلت لندن ميناءً لما يقرب من ألفي عام، والأمر الجميل في مدينة يقسمها نهر وجود ضفتين للعب بهما، لا محض شريط ساحلي واحد، لكن نهر التايمز يُعدّ ممرًا سريعًا لكل ما يطفو فوقه، وهو كذلك عائق ضخم لكل شيء يسير أو يتدحرج.
جاءت الجسور وغابت على مر القرون، ومع حلول سبعينات القرن التاسع عشر أخذت المدينة تنادي بقوة لإنشاء جسر آخر، غير أن ثمة مشكلة اعترضت ذلك؛ كيف ترضي مالك الحصان والعربة من دون قطع الطريق على السفن الطويلة؟ فكان الحل العبقري في جسر البرج.

تجثم السقيفة الصخرية الصغيرة فوق سلالم حلزونية تؤدي إلى الأسفل، ونزولًا نحو ما يشبه سلسلة من الكهوف اللبنية الكبيرة غير المرتبة، حيث تختفي داخلها أساسات البرج. يشبه هذا المكان خزانة الثياب التي تؤدي إلى عالم نارنيا [كما في القصة الروائية للأطفال «سجلات نارنيا»]، غير أنها في هذه الحالة (نارنيا) المهندسين لا الأطفال. يحتوي «الكهف» الأول على مضخات هيدروليكية، أما التالي له (وهو أكبر قليلًا) معظمه مليء ببرميل خشبي عالٍ ومخيف ومكون من دورين، ويعمل كمخزن طاقة مؤقت، كأنه بطارية غير كهربائية، لكن ثالث الكهوف وأضخمها هو ما جئتُ خصيصًا لمشاهدته، إنه حجرة تحوي حمل الموازنة .

ينشطر الممر الواصل بين الجسرين إلى نصفين، وتعبر عند الجسر السفن والقوارب بمعدل ألف مرة في السنة، وتتوقف في أثنائها حركة المرور على الجسر. يرتفع كل شطر من ذلك الجسر، ويتدلّى نزولًا نحو الأسفل ذلك الشطر الخفي على الجانب الآخر من أداة المحور القابعة في هذه الحجرة تحت الجسر.
نظرتُ إلى أعلى الجانب السفلي من أرجوحة التوازن وسألتُ: ما الذي يتعلق فوقنا بالضبط؟ فسُرّ دليلنا المدعو غلين سرورًا بالغًا لهذا السؤال، ورد مجيبًا: «ثمة في الأعلى ٤٦٠ طنًا من سبائك الرصاص وأجزاء من الحديد الخام»، وأردف قائلًا: «لها صوت قعقعة متحركة يمكنكم سماعها عندما ينفتح البرج. يضيفون عادةً شيئًا منها أو يقللون منها عندما يغيرون أي شيء على الجسر، وذلك حتى تبقى متوازنة تمامًا». إننا نقف مباشرةً تحت أكبر كيس فوصولياء في العالم.

فالتوازن هو مفتاح السر، وما من شيء آخر يرفع الجسر، وكل ما تفعله تلك المحركات أنها تجعله ينحرف قليلًا، فما يوجد على جانب من نقطة محور الارتكاز يوازنه بالضبط ما يوجد على الجانب الآخر، يعني هذا أنه ليس هناك حاجة سوى

لطاقة قليلة جدًا لتحريكه، فقط بما يكفي لتجاوز احتكاك الأحمال. ينتفي وجود الجاذبية كمشكلة، لأن الجذب نحو الأسفل من جهة يوازنه بالضبط جذب نحو الأسفل من الجهة المقابلة. ليس بوسعنا التغلب على الجاذبية، لكن بوسعنا توظيفها ضد نفسها. بإمكانكم صنع لعبة توازن ضخمة بالحجم الذي يروق لكم، وكما أقرّها الفيكتوريون.

مشيتُ لمسافة قليلة بعد الجولة السياحية على طول النهر، ثم تطلعتُ حولي لأرى مجددًا الجسر، لقد تغير منظوري له كليًا، وأحببتُ أن أراه بطريقة مغايرة. لم يتمتع الفيكتوريون بكهرباء جاهزة أو أجهزة حاسوب للتحكم بالأدوات أو مواد فاخرة جديدة مثل البلاستيك والإسمنت المقوّى، غير أنهم كانوا سادة المبادئ الفيزيائية البسيطة، وقد أثّرت فيّ بساطة الجسر تأثيرًا عميقًا لأنها تحديدًا مبنيّة على شيء شديد البساطة، وما زال صالحًا بعد ١٢٠ سنة، ومن دون أن يفكر أحد بتبديله. أما ما يتحلى به الجسر من العمارة القوطية الحديثة (وهو التعبير التقني الأقرب لمسمى قلعة خيالية) فهو كورق الجدران الذي يغطي أرجوحة توازن عملاقة. لو قُدّر لهم أن يصنعوا جسرًا مثله فآمل أن يجعلوا جزءًا منه شفافًا ليرى كل الناس عبقرية عمله.

بمقدورنا ملاحظة خدعة تقليل مشكلات الجاذبية في كل مكان، فعلى سبيل المثال: تخيلوا نقطة محور ارتكاز بارتفاع ٤ أمتار فوق مستوى الأرض، وتخيلوا شطري أرجوحة توازن، طول كل واحد منهما ٦ أمتار، يوازنان بعضهما من الجانبين، لا نتحدث هنا عن جسر، بل عن «تيرانوصور ركس» آكل اللحوم الشرس في عالم العصر الطباشيري، فما يمسك به رِجلان قصيرتان مكتنزتان، وتوجد نقطة محور ارتكازه في وِركيه، أما سبب عدم تمضية عمره ساقطًا على وجهه فيتلخص بأن رأسه الثقيل والضخم بما فيه من أسنانه المفزعة يعمل على تحقيق توازنه ذيلٌ عضلي طويل، لكن حياة هذا المخلوق الشبيهة بأرجوحة التوازن التي تسير على قدمين تعتريها مشكلة سافرة، فحتى أكثر ديناصورات (تي رِكس) عزمًا يتعيّن عليه أحيانًا تغيير اتجاهه، ويبدو أنها كانت سيئة في ذلك. جرى تقدير حركة التفافها بـ٤٥ درجة، وأنه قد يستغرق منها ثانية واحدة أو ثانيتين، وهذا ما يجعلها أبطأ بكثير من ذلك الديناصور الذكي والرشيق الذي ظهر في فيلم الحديقة الجوراسية . ما الذي بمقدوره الحد من ديناصور قوي وضخم بمثل هذه الطريقة؟ وعند الفيزياء الخبر الأكيد...

يجلب لاعبو التزلج على الجليد مميزات عديدة ليراها العالم، كالجماليات والرونق والذهول لما يستطيع الجسم البشري فعله. لكن إذا كنتم تتمشون مع فيزيائيين يفسرون الظواهر في معظم الأحيان فقد يُغفر لكم التفكير أن جُلّ ما يقوم به لاعب التزلج على الجليد إظهار أن مدَّ ذراعيه يجعله يدور أبطأ مما لو ثناهما أو ضمهما معًا. إنه مثال مفيد لأن الجليد يخلو نوعًا ما من الاحتكاك، وحال أن يدور فوقه فسيكتسب «كمية» ثابتة من الدوران، وما من شيء يبطئه، فيصبح من المثير للاهتمام أن نعلم أن اللاعبين عند تغييرهم لأشكالهم فهم يغيرون كذلك سرعتهم.
لقد ظهر جليًا أن الأجسام كلما ابتعدت عن محور دورانها فعليها أن تنتقل مسافة أكبر في كل دورة، وبالتالي تستحوذ على كمية أكبر من «الدوران» المتاح. لو مد أحدنا ذراعيه فسيصبحان أبعد عن محورهما، وتقل سرعة الاستدارة لتعويض ذلك، وهنا تكمن أساسًا مشكلة ديناصور الـ(تي رِكس)، فهو قادر على توليد قوة التفاف كبيرة («عزم التدوير») برجليه فقط، وبسبب امتداد رأسه وذيله الضخمين، إذا شبهناهما بذراعين سمينتين وثقيلتين وذَاتَي حراشف لمتزلج على الجليد، فليس بوسعه [أي الديناصور] سوى الاستدارة ببطء. وسيمسي أي حيوان ثَدْيِي رشيق (مثل أي أحد من أسلافنا القدماء جدًا) بأمان أكثر حال أن يستوعب هذه الحقيقة.
تفسر هذه الفكرة كذلك سبب مد ذراعينا جانبيًا عندما نعتقد أننا على وشك السقوط، فلو وقفتُ منتصبة وبدأت السقوط ناحية يميني، فسأستدير حول كاحليّ. ولو مددتُ ذراعي خارجًا أو ناحية الأعلى قبل أن أبدأ بالسقوط فلن تحركني قوة الانحراف ذاتها لمسافة محددة، فيتوفر لديّ وقت كثير لعمل التعديلات اللازمة للبقاء واقفة. لهذا السبب يقوم في معظم الأحيان لاعبو الجمباز بمدّ أذرعتهم أفقيًا، فهذا يزيد من قصورهم الذاتي ليكسبوا مزيدًا من الوقت لتصحيح أوضاعهم الجسمانية قبل أن يسقطوا بعيدًا، ويساعدنا مد أذرعتنا أيضًا بجعلنا نلف برفعها أو خفضها، وهو يساعدنا كذلك على التوازن.
أصبحت ماريا سبيلتيرينا المرأة الوحيدة التي عبرت شلالات نياغرا على الحبل المشدود في سنة ١٨٧٦. توجد لها صورة فوتوغرافية تقطع فيها منتصف المسافة بتوازن هادئ وتمشي وقد ربطت بقدميها سلتي خوخ (حتى يزداد التشويق). لكن الدعامة الأوضح في الصورة هي تلك العارضة الأفقية الطويلة التي تحملها كأفضل معين لعمل التوازن. لن يمتد الذراعان إلا لمسافتيهما المحدودة، في حين

أن هذه العارضة التي تحل محل الذراعين لها فضل كبير بقدرة ماريا المذهلة على السيطرة ، فلو بدأت تفقد توازنها فلن يحصل ذلك إلا ببطء شديد، لأن المسافة بين طرفي العارضة تعني أن لعزم التدوير ذاته تأثيرًا قليلًا. ما شغل بال ماريا هو خشية الوقوع على جانب من الجانبين، لكن العارضة الطويلة ستجعل من الصعب عليها أيضًا الالتفاف من اليسار إلى اليمين. وهكذا كانت حال ديناصور (تي رِكس)، فالجانب الفيزيائي نفسه الذي كان أفضل واقٍ لماريا من السقوط من ارتفاع ٥٠ مترًا، والهلاك المحقق في الماء الجارف، هو ما جعل كذلك من المستحيل على (تي رِكس) قبل ٧٠ مليون سنة أن يغيّر اتجاهه بسرعة.

إن سحب الجاذبية للأجسام الصلبة مفهوم مألوف لسبب بارز؛ مفاده أننا أجسام صلبة تغدو عرضة للسحب. لكن إلى جوار الأجسام الصلبة هناك الموائع المتدفقة، فالهواء والماء ينتقلان من مكان إلى مكان كاستجابة للقوة التي تؤثر فيهما. أعتقد أن من المآسي الكبرى أننا لا نرى السوائل تغيّر مكانها كما نرى بوضوح تساقط أوراق الشجر أو ارتفاع الجسور. تواجه السوائل القوى ذاتها لكنها غير مقيّدة بالتمسك بشكلها عينه، فيصبح لذلك عالم حركة السوائل جميلًا، فهو عالم منساب وذو دوامات ومتعرج ومفاجئ ويوجد في كل مكان.

الأمر اللطيف حول الفقاعات أنها منتشرة في كل مكان، وأنظرُ لها كالأبطال المجهولين في العالم الفيزيائي، فهي تتشكل وتفرقع في كل غلاية وكعكة، وفي المفاعلات البيولوجية والحمامات، وتقوم بكل أنواع الأعمال المفيدة، في حين أن وجودها غالبًا ما يمر مرور الكرام. وهي من المظاهر المألوفة لنا كثيرًا إلى الدرجة التي تجعلنا غالبًا لا نلاحظها. وجّهتُ سؤالًا قبل بضعة أعوام إلى مجموعات من التلاميذ تبلغ أعمارهم من الخامسة وحتى الثامنة عن أماكن العثور على الفقاعات، فأجابوني جميعهم بسرور بردود مثل المشروبات الغازية والحمامات وأحواض سمك الزينة، لكن آخر مجموعة في ذلك اليوم أصابها الإرهاق، وقد قابلوا تشجيعي المرح بصمت مطبق ونظرات جوفاء، وبعد لحظات توقف طويلة وكثير من الارتباك واختلاط الأمر عليهم، رفع أحدهم يده وعمره ستة أعوام ولا يبدو عليه الاهتمام، فقلت له بابتهاج: «إذن، أين تجد الفقاعات؟» فحدق الصبي بوجهي بنظرة معناها: (هل يجب عليّ أن أحدق بقوة)، ثم جهر بعلو صوته وقال: «في الجبن... ومخاط الأنف». لم يكن بوسعي تخطئة منطقه، مع أنه لم يسبق لي تصور ذلك في الاثنين معًا، وبدا على أية حال أن خبرته في

المخاط الذي يُخرج الفقاعات فاقت خبرتي في ذلك! لكن يشكل المخاط الفقاعي على الأقل بالنسبة إلى فصيل من الحيوانات سرًا لمفتاح أسلوب حياة بأسرها. فلنتعرف معًا إلى الحلزون البحري البنفسجي اللون، «جانثينا جانثينا» .

تندفع الحلزونات التي تعيش في البحر عمومًا من مكان لآخر في قاع المحيط، أو على الصخور، ولو قام أحدنا بالتقاط حلزون من مكانه على صخرة شاطئية وحمله ناحية الماء وتركه، فسيراه يغرق. كان العالم اليوناني القديم أرخميدس (صاحب الصرخة الشهيرة «وجدتها») أول من استنبط المبدأ الذي يحدد متى تطفو الأجسام ومتى تغرق. ولعل اهتمامه انصبّ على السفن، غير أن المبدأ ذاته ينطبق على الحلزونات والحيتان وكل الأجسام الأخرى المنغمرة أو شبه المنغمرة في أي مائع، فاستنبط أرخميدس أن ثمة منافسة حقيقية بين الجسم المنغمر (وهو الحلزون في هذه الحالة) والماء الذي يُفترض وجوده هناك إذا لم يوجد الحلزون. ويُجذب الحلزون والماء من حوله معًا إلى الأسفل نحو مركز الأرض، ولأن الماء سائل فتتحرك الأشياء فيه بسهولة كبيرة. وتتناسب جاذبية السحب على أي جسم تناسبًا طرديًا مع كتلته، أي أننا إذا ضاعفنا كتلة الحلزون فسنضاعف كذلك السحب الواقع عليه. على أن الماء من حوله يصبح عرضة أيضًا للجذب ناحية الأسفل، وإذا ازداد جذب الماء أكثر، سيضطر الحلزون للطفو ناحية الأعلى ليتوفر مجال أكثر للماء تحته. وقد نص مبدأ أرخميديس، لسوء حظ الكائن الرخوي، أن ثمة دفعًا علويًا على الحلزون يساوي وزن الماء الذي أزاحه جسم الحلزون. هكذا تعمل قوة الطفو، وما من جسم ينغمر في الماء إلا وقد واجهها، وهذا يعني عمليًا أنه إذا كان الحلزون يمتلك كتلة أكبر من الماء الذي يملأ شكل الفراغ الذي أزاحه الحلزون، فستكون له الغلبة بمعركة الجاذبية ويهبط للأسفل. أما إذا كان للحلزون كتلة أقل (وبالتالي كثافة أقل)، فسيتغلب الماء بمعركة السحب نحو الأسفل ويطفو بذلك الحلزون. معظم الحلزونات البحرية لها كثافة أكثر من كثافة ماء البحر، فتهبط لهذا السبب.

ظلت الحلزونات البحرية على حالها في معظم تاريخها تهبط بهذه الطريقة، لكن في نقطة معينة من الماضي عانى أحد الحلزونات «الطبيعية» من يوم سيئ، إذ علق داخل أوعية بيضه فقاعات هوائية. الجانب الذكي بشأن الطفو أن ما يشكّل أهمية فيها هو متوسط كثافة الجسم فقط، وما من داعٍ لتغيير كتلة الجسم، بل يمكن تغيير الحجم الذي يحتله فحسب، وفقاعات الهواء تحتل حجومًا كبيرة. انحبست

ذات يوم فقاعات هواء حلزون وانحرف توازنه نحو الطريق الخطأ، فرحل أول حلزون بحري عابرًا الماء لينجرف نحو ضوء الشمس، فانفتح الباب لخزّان أطعمة شاسع على سطح البحر... لكن الحلزون وحده هو القادر على تضخيم نفسه؛ وهكذا أخذ التطور يعمل عمله.

أصبح حلزون (جانثينا جانثينا) سليل أولى الحلزونات التائهة في الفضاء، مألوفًا في محيطات العالم الدافئة حاليًا، أما اللون البنفسجي البرّاق فهو المخاط السري للحلزون وهو النوع نفسه من أنواع المواد اللزجة والغروية التي نجدها في الصباح الباكر على الحجارة في الحديقة، وتستخدم قدمها العضلية لطي المخاط وحبس الهواء من الغلاف الجوي. وهي تبني لنفسها عوامات فقاعية كبيرة، وغالبًا ما تكون أكبر منها هي ذاتها لتضمن أن كثافتها الإجمالية أقل دائمًا من ماء البحر الذي توجد فيه. ولذلك نجدها دائمًا عندما تطفو مقلوبة رأسًا على عقب (عوامة الفقاعة في الأعلى، والقوقعة في الأسفل)، ومتربصة بقنديل بحر عابر بقربها، فإذا رأيتم قوقعة حلزون بنفسجي على الشاطئ، فلعله أحدها.

يمكن للطفو أن يقدم لنا مؤشرًا سريعًا ومفيدًا لما يوجد داخل جسم محكم الإغلاق، فعلى سبيل المثال: لو أخذنا علبتي مشروبات غازية متطابقتين في الحجم، إحداهما علبة حمية قليلة السكر والأخرى كاملة السكر، فسنرى علبة الحمية تطفو في الماء العذب والأخرى تغرق. العلبتان لهما الحجم نفسه، حيث إن الاختلاف ينحصر بالسكر الكثيف داخلهما فقط. والعلبة الغازية القياسية ذات الـ٣٣٠ مليلترًا يوجد بداخلها ٣٥-٥٠ غرامًا من السكر، ولهذه الكتلة الزائدة أهميتها الفارقة، إذ تجعل إجمالي العلبة أعلى كثافة من الماء. وهذا يعني أنها تغلبت على الماء في معركة الجاذبية، فهي لذلك تغرق. أما كتلة المادة السكرية في علبة الحمية فهي ضئيلة للغاية وتمتلئ بالماء والهواء فقط، فتطفو. ومن الأمثلة المفيدة الأخرى البيضة النيئة، فالبيضة الطازجة أعلى كثافةً من الماء، ولذلك تغرق وتقبع مسطحة في الماء البارد. لكن إذا وُضعت في الثلاجة لبضعة أيام فستمسي عرضة للجفاف تدريجيًا، ويتسرب الماء من القشرة، وتتسلل جزيئات الهواء داخل جيب في الطرف الداخلي لملْءِ الفراغ. والبيضة التي يبلغ عمرها أسبوعًا ستغرق، لكنها ستقف على الطرف المدبب (ليصبح الهواء الإضافي أقرب إلى السطح). فإذا طفت البيضة بأكملها فهذا لأنها موجودة منذ مدة طويلة، فلا تتناولوها على الإفطار.

بطبيعة الحال، إذا استطعنا السيطرة على كمية الهواء الذي نحمله معنا ومقدار الحجم الذي يأخذه، فيمكننا اختيار ما إذا كنا سنطفو أو سنغرق. عندما بدأتُ دراستي للفقاعات أتذكر عثوري على ورقة كُتبت في سنة ١٩٦٢ تذكر جازمةً: «أن نشوء الفقاعات لا يحدث من تكسّر الموجات فحسب، وإنما كذلك من خلال المواد المتحللة وتجشؤ الأسماك وغاز الميثان من قاع البحر». تجشؤ الأسماك؟ بدا لي واضحًا أن هذه الورقة كتبها من هو مرتاح على كرسي وثير من الجلد، وربما من أعماق نادي لندن ، وأقرب إلى زجاجة الشراب من العالم الواقعي! ظننت أنها فكرة مغلوطة مضحكة، هذا ما ردّدته لنفسي. وبعد ثلاث سنين من ذلك وبينما كنت أعمل تحت أعماق الماء قبالة جزيرة كوراساو، التفتُّ لأرى سمكة طربون ضخمة (طولها يقترب من ١,٥ متر) تسبح قريبة من كتفي وتتجشأ بغزارة من خياشيمها! أنا من قلت ذلك هذه المرة... والحقيقة أن كثيرًا من الأسماك العظمية لها فعلًا جيب هوائي يُعرف باسم مثانة الغاز ، تساعدها على التحكم بالطفو. إذا استطعنا المحافظة على كثافتنا لتتساوى بالضبط مع ما يحيط بنا، فسنبقى في حالة توازن وثبات. إن مثانة غاز سمك الطربون ليست شيئًا معتادًا أو أساسيًا لدى الأسماك (فالطربون نموذج نادر من الأسماك التي تتنفس الهواء مباشرة كما تستخرج الأكسجين عبر خياشيمها)، لكن علي أن أعترف أن السمك فعلًا يتجشأ، على أنني ما زلت على موقفي من أن هذا لا يعد إسهامًا ملحوظًا في عدد الفقاعات في المحيطات .

تعتمد نتائج الجاذبية على الجسم الذي يكون عرضة للسحب، فجسر البرج جسم صلب، ولذلك يمكن للجاذبية تغيير مركز الجسر وليس شكله. والحلزون أيضًا جسم صلب، ويتحرك عبر مياه المحيط فيستطيع التدفق من حولها ليتأقلم، لكن الغازات قادرة على التدفق كذلك (تفسر قدرتها على التدفق سبب تسمية السوائل والغازات معًا بالموائع Fluids). ويمكن للأجسام الصلبة أيضًا أن تتحرك عبر الغازات مع اتباعها لسحب الجاذبية، إذ تصعد بالونات الهيليوم في الحفلات ومنطاد زيبلين للسبب ذاته الذي يصعد من خلاله الحلزون ذي المخاط، فهي تخوض معركة الجاذبية مع الموائع من حولها وتخسر المعركة.

يترتب على ذلك أن قوة الجاذبية قد تتسبب في عدم استقرار الأجسام، وهو ما يعني على وجه العموم أن ثمة قوى غير متوازنة وأن الأجسام ستتراوح بلا ثبات إلى أن يستعاد التوازن من جديد. إن أصبح جسم ما غير مستقر فسينقلب على

وجهه أو يسقط أرضًا، وسيتدفق أي سائل أو غاز يحيط به لإفساح المجال للحركة. لكن ماذا يحدث عندما يكون ذلك الشيء غير المستقر ليس جسمًا صلبًا مثل البالون، بل المائع نفسه؟

إذا أشعلنا ثقابًا وقمنا بتوليع فتيل شمعة، فسنرى انسيابًا لغاز برّاق وساخن، وقد استمر توقد الشموع لقرون عديدة في خدمة النُّسّاخ والتلاميذ والعشاق. تُعدّ مادة الشمع من أنواع الوقود الناعمة والمتواضعة مما يجعل من تحوّلها عملية تتسم بالمفاجآت المتزايدة، لكن كل توقّد من هذه الشعلات الصفراء المألوفة إنما هو في حقيقته أشبه بالفرن الصغير، وله من القوة العاتية ما يكفي لتحطيم الجزيئات تحطيمًا وتكوين قطع ألماس ضئيلة الحجم، وكلٌّ منها تنحتُها الجاذبية.

عندما يشعِل المرء الفتيل، تصهر الحرارة الشمع في الفتيل، وكذلك الشمع القريب منها، وأول عملية تحوّل ستكون نحو الحالة السائلة. والشموع المعدنية من الهيدروكربونات، وهي جزيئات متسلسلة طويلة ببنية أساسية كربونية يمتد طولها من ٢٠ إلى ٣٠ ذرة. ولا تمنحها الحرارة الطاقة لتنزلق على بعضها بما يشبه كومة من الثعابين (وهو الشكل الذي تبدو عليه إذا نظرنا للجزيئات) فقط، فبعضها ينال طاقة كافية ليفلت تمامًا ولينجرف خارج الفتيل ويبتعد عنه. يتشكّل عمود من الوقود الغازي الساخن إلى درجة تدفع الهواء المحيط بها بعنف، ويشغل حجمًا ضخمًا لعدد قليل نسبيًا من الجزيئات. الجزيئات متشابهة ولذلك يكون السحب الجذبي الواقع عليها متشابهًا في مجمله أيضًا، لكنها الآن تحتل حجمًا أكبر، فتنخفض بالتالي جاذبية السحب لكل سنتمتر مكعب.

يتحتم على هذا الغاز الساخن أن يرتفع لأن ثمة هواء مكثفًا باردًا يحاول الانزلاق تحته، على غرار ذلك الحلزون المخاطي ذي الفقاعات في البحر. يُدفع الهواء الساخن فوق مدخنة غير مرئية مختلطًا بطريقه مع الأكسجين، ويتشقق الوقود ويحترق في الأكسجين حتى قبل أن يبعد أحدنا الثقاب عن الشمعة، مما يزيد من سخونة الغاز أكثر فأكثر. إنها الأجزاء الزرقاء من اللهب التي تصل إلى درجة حرارة مذهلة تبلغ ١٤٠٠ درجة مئوية. يتفاقم هذا الينبوع (الحراري) الذي أشعلناه إثر اندفاع الهواء الساخن نحو الأعلى بسرعة متزايدة، وتتم تغذيته من الأسفل لأن الفتيل يعمل كإسفنجة رفيعة وطويلة تمتص جزيئات الشمع الأخرى التي صهرها الفرن.

بيد أن الوقود لا يحترق احتراقًا تامًا، ولو كان يحترق لظلت الشعلة زرقاء، وأصبحت الشموع غير مفيدة بوصفها مصادر للضوء. ومع تشتيت الحرارة وتضييقها على سلسلة الجزيئات الطويلة يظل بعض الفتات المتبقي غير محترق لعدم وجود ما يكفي من الأكسجين ليدور حولها. فيحمل التدفقُ السخامَ، ألا وهو بقع صغيرة من الكربون، نحو الأعلى ويسخن. هذا هو مصدر الضوء الأصفر المريح الذي يشع مع بلوغ درجةِ حرارة السخام درجةَ ١٠٠٠ مئوية. فضوء الشمعة ليس سوى ناتج ثانوي للحرارة الشديدة، وهذا الضوء ليس سوى وهج لفحم ساخن مصغر يحترق. وتتسم هذه الجسيمات الكربونية الضئيلة بالحرارة الشديدة إلى الحد الذي يجعل الطاقة الاحتياطية على شكل ضوء تنسكب منها لتخرج نحو ما يحيط بها. لقد اكتشف العلماء أن دوامة الشمعة الهائلة لا تنتج سخامًا على شكل غرافيت (المادة التي نعتقد أنها كربون أسود) فقط، بل تنتج كذلك كميات ضئيلة لأكثر التركيبات المُشكّلة إدهاشًا عند اتحاد ذرات الكربون؛ مثل: كرات باكي ، وأنابيب نانوية ، كربونية، وقطع من الألماس. وقد جرى تقدير أن متوسط شعلة الشمعة تنتج ١٫٥ مليون حبيبة ألماس دقيقة في كل ثانية.

تعدّ الشمعة مثالًا نموذجيًا على عملية إعادة تنظيم المائع لنفسه للاستجابة للجاذبية، فالوقود الحراري الساخن يتصاعد بسرعة مع دفع الهواء البارد من الأسفل، مكونًا تيار حمل حراري متواصل. لو أطفأنا الشمعة سيحافظ عمود الوقود الغازي على السريان والانسياب نحو أعلى الشمعة لبضع ثوان، ولو أنزلنا عود الثقاب من الأعلى فسنرى الشعلة تقفز نحو الفتيل مع إعادة اشتعال العمود.

تعين مثل هذه التيارات للحمل الحراري على تدوير الطاقة ومشاركتها لأي سائل يصبح عرضة للتسخين من الأسفل. هذا ما يفسر فاعلية عمل أدوات كثيرة مثل سخّانات صهريج السمك والسخان تحت الأرض وقدور المواقد، فما من أداة من هذه الأدوات ستقترب من فاعليتها من دون وجود الجاذبية. عندما نقول «تتصاعد الحرارة» فهذا غير دقيق تمامًا، بل الأَحْرى أن نقول إن الموائع الأبرد تهبط إثر رجحان كفتها في معركة الجاذبية. لكن لا أحد يشكرك على هذه الإشارة!

إن حالة الطفو لا تشكل أهمية لبالونات الهواء الساخن والحلزونات وأضواء الشموع الرومانسية في العشاء فقط، فالمحيطات والمحركات الضخمة في كوكبنا تتلقى أوامرها الصارمة من الجاذبية، مثلها في ذلك مثل كل شيء آخر. لا تتسم الأعماق بالسكون، فالماء الذي لم يرَ ضوء الشمس منذ قرون يتدفق عبر الكوكب

ومن حوله ليعود في رحلة طويلة وبطيئة إلى النهار، لكن قبل النظر إلى الأعماق علينا النظر إلى الأعلى. ففي المرة القادمة التي ترون فيها لمعانًا صغيرًا يتحرك عاليًا في السماء بيوم صافٍ، كطائرة مسافرين على ارتفاع التطواف، حاولوا تقدير مدى الارتفاع الذي تطير به، هل هو ١٠ كيلومتر تقريبًا؟ ثم تخيلوا أنفسكم تقفون على أعمق جزء من قاع المحيط، ألا وهو أسفل خندق ماريانا ، إذ ستصبح المسافة لسطح البحر هي المسافة ذاتها التي بيننا وبين الطائرة التي كنا ننظر إليها . فحتى متوسط عمق المحيطات يبلغ ٤ كيلومتر، وهو أقل من نصف المسافة لتلك الطائرة. وتغطي المحيطات ما نسبته ٧٠ بالمئة من سطح الأرض، فثمة ماء كثير هناك.

وما يختبئ تحت هذه الظلمات العميقة نمط مألوف لنا، فالآلية التي تسبب تراقص الزبيب في قنينة الليموناضة هي ذاتها التي تدفع محيطات الأرض الشاسعة في انتقالها البطيء حول الكوكب. المقياس مختلف والنتائج هي الأهم، لكن المبدأ هو ذاته بالضبط. إن زرقة كوكبنا الأزرق في حالة حركة.

لكن لماذا يتحرك؟ لقد أمضت المحيطات ملايين السنين وهي تعدّل من وضعها، وقد بلغت بالتأكيد ما وصلت إليه بحلول الوقت الراهن. وثمة عاملان يقلّبان من هذا الوعاء الضخم؛ الحرارة والملوحة. فتتمثل أهميتهما في أنهما يؤثران في الكثافة، والمادة المائعة ذات المناطق المختلفة الكثافة ستتدفق لتعدل وضعها، في الوقت الذي تقع فيه معركة الجاذبية. نعلم جميعًا أن المحيط مالح لكنني أشعر بالذهول في كل مرة أمعن التفكير في كمية الملح فيه. ولجعل حوض ماء استحمام منزلي مالحًا مثل ماء المحيط فعلينا أن نضيف إليه ١٠ كيلوغرام من الملح، أي ملْء دلو كامل، لحوض ماء استحمام واحد فقط! لا تتساوى نسبة الملوحة في المحيط كله، فهي تتراوح من نسبة ٣,١ إلى ٣,٨، ومع أن نسبة الاختلاف قد تبدو ضئيلة إلا أنها تشكّل أهمية فارقة. ومثلما أن إضافة السكر في شراب غازي تجعله أكثر كثافة، فإن الكمية الضخمة من الملح تجعل من ماء البحر أكثر كثافة من الماء العذب. أما الماء البارد فأكثر كثافة من الماء الدافئ، وتتفاوت درجة حرارة المحيطات من درجة صفر مئوية قرب القطبين إلى ٣٠ درجة مئوية قرب خط الاستواء. إذن فالماء المالح والبارد يهبط والماء الأدفأ والأكثر عذوبة يصعد، ويعمل هذا المبدأ البسيط على انتقال ماء البحار حول الكوكب، وقد يستغرق ذلك

آلاف السنين قبل أن تعود كمية قليلة من الماء إلى النقطة نفسها التي كانت عليها مرة أخرى.

يمسي الماء عرضة للبرودة في شمال الأطلسي إثر استيلاء الرياح على الحرارة، وحيث يتجمد سطح البحر ليكوّن الجليد البحري، يتكوّن معظم الجليد الجديد من الماء فقط، أما الملح فيُترك في الخلف. وتجعل هاتان العمليتان معًا ماء البحر أبرد وأكثف وأكثر ملوحة، وبالتالي يبدأ بالهبوط مُزيحًا الماء الأقل كثافة من طريقه إثر تلبيته لنداء الجاذبية، فيجد له طريقًا نحو عمق البحر. ومع انزلاقه البطيء على طول قاع البحر يؤدي وجود الوديان البحرية إلى انشقاقه وتفرعه، وتعمل الأخاديد على اعتراضه، تمامًا كالنهر. ومن شمال الأطلسي يتدفق نحو الأسفل على طول قاع المحيط بمعدل بضعة سنتمترات في الثانية، وبعد ألف سنة بالتمام والكمال يصل إلى عائقه الأول، ألا وهو القطب الشمالي. وإثر عدم قدرته على مواصلة الزحف نحو الجنوب، يتحول شرقًا لحظة التقائه بالمحيط الجنوبي. ويعمل هذا المحيط، الذي يشبه مفترق طرق دائري مائي عظيم في أسفل الكوكب، على ربط مياه بحار الكوكب كلها معًا، لأنها تندمج في طريقها حول القارة البيضاء مع الحافة السفلية لمحيطات الأطلسي والهندي والهادئ. ويمضي تدفق الماء الشاسع زاحفًا من شمال الأطلسي ومستديرًا حول القطب الشمالي إلى أن يتحوّل مرة أخرى إلى الشمال منتقلًا لمسافات بعيدة، إما للمحيط الهندي أو المحيط الهادئ. ويؤدي المزج التدريجي للماء من حوله إلى تقليل كثافته، ليجد طريق عودته إلى السطح بعد ١٦٠٠ سنة من دون أن يتسرب إليه شعاع واحد من أشعة الشمس. والمطر والماء الجاري من الأنهار والجليد المُذاب ليقلل من كثافة الملح مجددًا، في حين تدفعه التيارات التي تقودها الرياح نحو ما تبقى من مسيرة انتقاله حتى يجد طريقًا لعودته نحو شمال الأطلسي، وربما حيث يتأهب لتكرار هذه الدورة. يُطلق على هذه العملية «الدورة الحرارية والملحية» thermohaline، «ثيرمو» تعني حراري و«هالين» تعني المدفوع بسبب الملح. ويُشار أحيانًا لهذا الانقلاب المائي في المحيطات بحزام نقل المحيطات ، ومع أن حركات النقل هذه مجرد صورة مبسطة قليلًا إلا أن هذه التدفقات تحيط الكوكب فعلًا بأحزمة تدفعها الجاذبية. لقد حملت تيارات السطح المدفوع من الرياح المستكشفين والتجار لقرون طويلة، لكن نظام حزام نقل المحيطات يحمل بالإجمال بضاعة لها أهمية تتساوى وحضارتنا، ألا وهي الحرارة.

يُمتص عند خط الاستواء قدرٌ كبير من حرارة الشمس أكثر من أية منطقة على الكوكب، لأن الشمس تظهر هناك من موقع أعلى في السماء ولأن الكوكب يظهر في تلك البقعة بمساحة أعرض، مما يجعل منطقة استيعاب حرارة الشمس أكبر. ويتطلب تسخين الماء، حتى لكمية صغيرة منه، كثيرًا من الطاقة، ولهذا تشبه المحيطات الدافئة بطارية عملاقة للطاقة الشمسية. ويعمل المحيط المتنقل والمتحرك على إعادة توزيع تلك الطاقة في أرجاء الأرض، وتؤدي الدورة الحرارية والملحية دور الآلية الخفية وراء أنماط حالة الطقس التي نواجهها. ويمر أغلب غلافنا الجوي النحيف والضعيف من فوق خزان حراري مستقر يوفر باستمرار الطاقة ويلطّف الأطراف القصوى.

يحصل الغلاف الجوي على المجد كله، بيد أن المحيطات هي القوة التي تتوارى خلف عرش ذلك المجد. وفي المرة القادمة التي تتطلعون فيها إلى نموذج الكرة الأرضية، أو صورة أقمار للأرض، فلا تتصوروا المحيطات وكأنها محض أجزاء زرقاء تملأ الفراغ بين جميع القارات المثيرة للاهتمام، بل تخيلوا الشد الجاري للجاذبية على تلك التيارات العملاقة البطيئة، وانظروا للأجزاء الزرقاء على حقيقتها، إنها المحرك الأكبر على ظهر الكوكب.

الفصل الثالث: كلُّ صغيرٍ جميلٌ اللّزوجة والشَّدّ السَّطحي

إن القهوة من السلع الثمينة والعظيمة عند أغلب البشر، وما زال ذلك السحر الأسود المطلوب لقطف الإتقان من حبة البن البسيطة مصدرًا للجدل (وشيئًا من الزهو أيضًا) عند كل ذوّاق خبير، غير أن اهتمامي لا يتوقف عند كيفية تحميصها أو الضغط الموجود في آلة تحضير قهوة (الإسبريسو)، إنما يثير اهتمامي ما يحدث عندما يصبّها الناس ، فهذه من الأمور الغريبة في حياتنا اليومية التي لا يتطرق لها أحد بالسؤال، فبقايا قهوة على سطح صلب لا تترك تأثيرًا في نفس أحد، فما هي سوى بقعة سائلة مكوّرة الشكل، لكن إذا تركناها تنشف فسندرك أننا أمام مخطط بنيّ اللون يذكرنا بتلك الخطوط التي يضعونها لرسم شكل الجثة في قصص أفلام المحققين في عقد السبعينات. فما هو مؤكد أنها مكتنزة بأشياء كثيرة، لكن في أثناء عملية التجفيف انتقلت كل القهوة إلى الخارج، وعند تدقيق النظر في قطرات القهوة المسكوبة نلاحظ ما يجري فيها، فإضاعة الكافيين ها هنا تمنحنا مشاهدة رسمة تجف، لكن حتى لو حاولنا فلن نرى أشياء كثيرة. ولا تعمل التحوّلات الفيزيائية لما يجري في القهوة إلا بمقاييس ضئيلة جدًا، وغالبًا ما تكون أصغر من أن نراها مباشرة، لكننا قطعًا نستطيع رؤية نتائجها.

لو قمنا بعمل تقريب مجهري على قطرة القهوة سوف نرى بركة من جزيئات الماء تلعب لعبة سيارات الاصطدام، وجسيمات كبيرة بنيّة كروية من القهوة تنجرف وسط اللعبة، وتجذب جزيئات الماء بعضها بقوة شديدة، بحيث إذا ارتفع جزيء ماء من السطح قليلًا فسيُسحب فورًا ليعود للانضمام إلى حشد الجزيئات الأخرى في الأسفل. ويعني هذا أن سطح الماء يظهر كصفحة مرنة، فيعمل على سحب الماء في اتجاه السطح من أسفله لكي يظل ناعمًا دومًا. وتُعرف هذه الحالة المرنة الظاهرة للسطح باسم الشدّ السطحي (التي سنفصّل فيها لاحقًا)، وينحني سطح الماء على حواف قطرة القهوة بنعومة نحو الأسفل ليلمس الطاولة ويثبت القطرة في مكانها، لكن يرجح أن الغرفة دافئة وتفلت جزيئات الماء بين الحين والآخر من السطح تمامًا، وتطفو بعيدًا نحو الهواء كبخار ماء. هذه هي عملية التبخير، وتحدث تدريجيًا ولجزيئات الماء فقط، أما القهوة فلا تتبخر بل تظل محبوسة في قطرة القهوة.

تحدث العملية الذكية بمهارة مع انفلات مزيد من الماء، لأن حافة سطح الماء مثبتة على الطاولة (سنرى تفسير ذلك لاحقًا). يظل الماء عالقًا بقوة على الطاولة، مما يجعل حافة سطح القطرة مجبرة على البقاء بمكانها. لكن عملية التبخير تحدث في الحواف أسرع مما تحدث في الوسط لأن نسبةً أعلى من جزيئات الماء فيها معرّضة للهواء. أما الجزء الذي لا نراه (مع محاولة إقناع من يتشارك معنا في تناول القهوة أن مشاهدة لوحة تجف هو الشيء الأخير) فهو أن محتويات قطرة القهوة في حالة حركة، لذلك لا بد أن تتدفق القهوة السائلة نحو الحواف لتعويض الماء المفقود، وتعمل جزيئات الماء على حمل جسيمات القهوة كمسافرين، لكن عندما يحين دورها للإفلات نحو الهواء لا تستطيع القهوة الانضمام إليها، وبالتالي تُحمل جسيمات القهوة نحو الحواف، وفي حال زوال الماء لا يتبقى سوى حلقة قهوة دائرية مهملة.

يكمن السبب وراء اهتمامي الشديد في هذا الأمر أنه يحدث على مرأى من عيوننا مباشرةً، لكن الأجزاء المثيرة للاهتمام في ذلك كلها من الصغر المتناهي بحيث إننا لا نتابعها بإمعان، ويكاد هذا العالم من الأشياء الصغيرة أن يكون عالمًا مختلفًا وقائمًا بحد ذاته، والقواعد الأساسية المهمة المعمول بها فيه مختلفة كذلك. وكما سنرى لاحقًا، ما تزال القوى التي اعتدنا عليها، كالجاذبية، حاضرة. غير أن هناك قوى أخرى، تلك التي تبرز إلى الوجود بسبب الأسلوب الذي تتراقص به الجزيئات حول بعضها، تحتل أهمية أكبر. عندما نغوص في أعماق ما هو صغير قد تبدو لنا الأشياء شديدة الغرابة. ويظهر جليًا أن القواعد التي تعمل على هذا المقياس الصغير تفسر جميع أنواع الظواهر في عالمنا ذي المقاييس الأضخم؛ فلماذا لم تعد تظهر القشدة في الحليب؟ ولمَ يعلو الضباب والغشاوة المرايا؟ وكيف تشرب الأشجار؟ لكننا نتعلم في الوقت ذاته كيفية استخدام تلك القواعد لكي نصمم عالمنا هندسيًا، وسوف نرى كيف ستعيننا على إنقاذ أرواح الملايين من الناس من خلال تحسين تصميم المستشفيات والفحوص الطبية الجديدة.

***

قبل أن ننشغل بالاهتمام بالأشياء التي لا تُرى بالعين المجردة، علينا أن نتيقن أولًا أنها موجودة، وقد واجهت البشرية المعضلة المنطقية «لغز-٢٢» ، فإن لم نعلم ما إذا كان الشيء موجودًا فلماذا نذهب للبحث عنه أصلًا؟ لكن كل هذا تبدّل في

سنة ١٦٦٥ بعد نشر كتاب صُنّف بوصفه أولَ كتاب علمي يحتل صدارة أفضل الكتب مبيعًا، ألا وهو كتاب روبرت هوك «الفحص المجهري» .

شغل روبرت هوك منصب أمين تجارب الجمعية الملكية، فكان ممارسًا عامًا، وغير اختصاصي، وله الحرية بالتنقل بين الأدوات العلمية في عصره وتجريبها. أما كتابه « الفحص المجهري» فأشبه بواجهة عرض للمجهر، وكُتب خصيصًا لإحداث تأثير في نفس القارئ بإمكانيات هذه الأداة الحديثة. وكان توقيت صدوره ممتازًا، فقد كان ذلك عصر التجريب العظيم والتقدم السريع في الإدراك العلمي. وقد ظلت العدسات فيما مضى تتناقلها الأيدي في مختلف الحضارات البشرية لبضعة قرون، ولم تجد تقديرًا مناسبًا لها، ونُظِر لها كبدعة جديدة لا كأداة مهمة تُوظَّف لصالح العلم، لكن آن أوان تقدير العدسات مع نشر كتاب الفحص المجهري.

ما يجعل هذا الكتاب رائعًا أنه على الرغم من ارتدائه للباس الجدارة الراقية والحجة الزاهية، وهو ما يليق بمنشور صادر عن الجمعية الملكية، إلا أنه لا يعدو كونه إنتاجًا لعالم كان يمارس اللعب. فهو يكتظ بالتوصيفات الدقيقة والأمثلة التوضيحية الجميلة، ويُصنّف ضمن الأعمال باهظة التكاليف والمُقدّمة بعناية واهتمام. لكن ما يتوارى خلف كل تلك البهرجة أن (هوك) قام بعمل يشبه ما يفعله كل طفل يمسك بمجهر لأول مرة، فقد أخذ يتفحص كل شيء، إذ يوجد في الكتاب صور دقيقة مذهلة لشفرات حلاقة ونبتات القرّاص، وذرات رمل وخضروات محترقة، وشعر رأس وسمك ودود الكتب وشعيرات الحرير. وأحدثَ اكتشاف هذا المستوى من التفاصيل في عالم الأشياء الصغرى صدمةً قويةً. فمن كان يعلم أن عيون الذبابة بهذا الجمال؟ ولم يزعم هوك، بالرغم من ملاحظاته الواعية، إجراء أي دراسات متعمقة. وقد تكهن في قسم من الكتاب بعنوان «حصاة في المثانة البولية» (البلورات المرصودة بشكل شائع داخل المسالك البولية) بأسلوب لمعالجة هذا الداء المؤلم، ثم ترك بكل سرور هذا العمل المُضني لحل المشكلة، وأَوْكَلَه لِآخرين، إذ قال:

«لعل هذا مما يجدر فحصه من الأطباء، ما إذا كان ثمة محلول يمتزج مع البول، حيث تقبع الحصيات مما يعمل على جعلها تذوب مرة أخرى، ويبدو أن أولها حسب ما ظهر من أشكال معتادة تحولت أحيانًا إلى شكل بلورات... لكني لن أمضي إلى أبعد من ذلك، بل أترك هذه الأبحاث على عاتق الأطباء والكيميائيين المختصين بهذه الشؤون».

غير أنه مضى فعلًا في هذه الطريق متنقلًا بالفحص المجهري بين الجلمود والريش والأعشاب البحرية وأسنان الحلزون وإبرة لسع النحل، وقد صاغ في أثناء ذلك كلمة cell «خلية» كتوصيف للوحدات المُكوِّنة لِلِحاء الفلين، معلنًا عن ولادة علم الأحياء كمجال بحث منفصل.

لم ينجح هوك بالكشف عن عالم الأشياء الصغرى فحسب؛ بل فتح الأبواب على مصراعيها لدعوة الناس كلهم إلى هذا المجال الحافل، وقد ألهم كتاب الفحص المجهري بعضًا من أهم وأشهر اختصاصيّي الفحص المجهري للقرون التالية لعصره، وأدى كذلك إلى فتح الشهية العلمية للندن الأنيقة. وجاء مكمن السحر من حقيقة أن هذه المكافأة الكبرى كانت وما زالت موجودة طوال الوقت. أما أبرز ما كُشِف عنه الستار فهو البقعة السوداء المزعجة التي تحلق فوق اللحم الفاسد لتظهر كوحش دقيق برجلين يكسوهما الشعر وبعينين منتفختين، وذات شعر منتصب ودرع لامع. لقد كان اكتشافًا صادمًا بالفعل، وبحلول ذلك الوقت، عَبَرت الرحلات الاستكشافية العظمى العالم، واكتُشفت أراضٍ وشعوبٌ جديدة، وساد شعور بالإثارة مما يمكن العثور عليه في الأماكن القصوى من العالم. ولم يطرأ على بال أحد أن التبصّر العميق بأصغر الأشياء قد أُهمِل إهمالًا بالغًا، وأنّ حتى ما في سرّة البطن له أن يبوح بما هو كثير عن هذا العالم. وحال أن يستفيق المرء من صدمة أرجل البرغوث ذات الشعر، فله أن يلاحظ كيف تعمل. واتصف عالم الأشياء الصغيرة بالآلية الميكانيكية، وأصبح إدراكه متيسرًا، ومكّن المجهر الناس من فهم أشياء يلاحظونها لسنوات لكنهم يعجزون عن إيجاد تفسير لها.

لكن حتى هذا كان مجرد بداية للرحلة نحو عالم الأجسام الصغرى، إذ سيمر قرنان من الزمان بعد ذلك قبل تأكيد وجود الذرات، وكل واحدة منها من الضآلة المتناهية بحيث يتطلب ١٠٠,٠٠٠ ذرة لتكوين خط بطول أحد خلايا اللحاء. وكما أشار الفيزيائي الشهير ريتشارد فينمان بعد ذلك بأعوام عدة أنه ثمة مجال واسع في هذه الأعماق. إننا بوصفنا بشرًا نتحرك في الوسط من بين مقاييس الأحجام، ونغفل عن الكيانات الضئيلة التي بُني منها وعليها عالمنا. غير أنه بعد ٣٥٠ سنة من نشر كتاب هوك «الفحص المجهري» تغيرت الأمور وما زالت، إذ أصبحنا قادرين على تجاوز مجرد النظر عن قرب لذلك العالم، كما ينظر الطفل من خلال أقسام المتحف المحمية بالزجاج ولا يُسمح له بلمسها. إننا نتعلم الآن كيفية التحكم بالذرات والجزيئات على ذلك النطاق الضئيل، فقد أزيل الزجاج الذي يفصلنا عن

القسم الذي يحميه، وبوسعنا الدخول لدراسته، ولعل أحدث طراز في ذلك هو تقنية «النانو».

إن من أبرز الأسباب التي تجعل عالم الأجسام الضئيلة ساحرًا ومفيدًا أن الأشياء تتحرك وتعمل بطريقة مختلفة على ذلك المستوى، فالشيء المستحيل لإنسان يمكن أن يكون من مهارة الحياة الأساسية لبرغوث. ومع ذلك، تنطبق عليهما قوانين الفيزياء معًا؛ فالبرغوث يعيش في الكون الفيزيائي ذاته الذي نعيش فيه أنا وأنت، لكن قوى مختلفة ستحتل الأولوية . أما هنا في عالمنا، فثمة مؤثران مهيمنان؛ أولهما الجاذبية التي تسحبنا جميعًا نحو الأسفل، أما ثانيهما فهو القصور الذاتي . فنحن لنا أجسام ضخمة، ويتطلب الأمر قوة كبيرة لجعلنا نتحرك أو لإبطاء حركتنا، لكن إذا صغُرت الأجسام، فإن الجاذبية والقصور الذاتي ستقلّ فاعليتهما كذلك. ثم سنجد الأجسام التي صغرت تتنافس مع قوى أخرى ضعيفة كانت موجودة على هذا المستوى طوال الوقت لكنها طفيفة، فهناك ظاهرة الشد السطحي، وهي القوة التي تغيّر حالة حبيبات القهوة عندما تجف قطرتها المسكوبة، ثم لدينا ظاهرة اللزوجة التي تفسر في عالم الأجسام الضئيلة سبب عدم حصولنا على طبقة جميلة من القشدة فوق الحليب.

لطالما اعتلى ذلك المخلوق الصغير الذي يظهر باللونين الذهبي والأزرق قناني الحليب التي انقض عليها، ولو كنت أيها القارئ الكريم ممن يستيقظون مبكرًا وفتحت بابك الأمامي بهدوء وحرص لاصطدمت بواحد من تلك المخلوقات، وهو متلبس بالجريمة؛ إنه عصفور صغير ومرح وذو عيون ساطعة يجثم على قمة القنينة، ويختلس رشفات سريعة من القشدة التي تنكشف من ثقب يحدثه بنقراته في أعلى القنينة المصنوع من الألمنيوم الرقيق، في الوقت الذي يظل يرمق بعينيه ما يجري من حوله. وفور تيقنه من اكتشاف أمره ينطلق هاربًا لكي يجرب حظه ربما عند باب الجيران. ظل عصفور القرقف الأزرق طوال خمسين عامًا في بريطانيا سيدًا من سادة سرقة القشدة، وقد تعلمت هذه العصافير من بعضها أن تحت كل غطاء رقيق يوجد كنز دسم ثمين، وانتشرت هذه المعرفة عبر نواحي تجمعات القرقف الأزرق في المملكة المتحدة كلها. أما العصافير والطيور الأخرى فلا يبدو أنها أدركت ما هو مستور، إلا أن القرقف الأزرق يظل منتظرًا بائع الحليب كل صباح، لكن اللعبة توقفت فجأةً، ليس لصناعة قناني الحليب البلاستيكية

فقط، بل لسبب أهم؛ فمنذ أن حَلَب البشر البقر، ما انفكت قشدة الحليب تعلوه، لكنها في هذه الأيام لا تفعل ذلك!

احتوت القنينة التي يتواثب عندها العصفور الجائع على مزيج من مختلف أنواع المزايا الغذائية. معظم الحليب يتكون من الماء (٩٠ بالمئة تقريبًا)، لكن السكر هو ما يطفو فوقه (هذا هو اللاكتوز الذي لا يتحمّله بعض المرضى)، وتتجمع جزيئات البروتين لتصبح كالأقفاص الدائرية ضئيلة الحجم وكريات أكبر من الدهون. يختلط كل هذا معًا، لكن إذا تركناه لبرهة فسيظهر نمط ما. الكريات الدهنية في الحليب صغيرة جدًا، ويبلغ حجمها ما بين ١ ميكرون إلى ١٠ ميكرونات، ما يعني أن بوسعنا وضع من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ منها على خط لتشكل خطًا بين علامات المليمتر على المسطرة. وتتصف هذه القطرات الصغيرة جدًا بأن كثافتها أقل من الماء من حولها. ويوجد قليل من المواد في الحجم نفسه، وإثر تجميعها وحشدها مع كل شيء آخر لن يكون هناك سوى اختلاف صغير جدًا في وجهتها التي ستذهب إليها. وتعمل الجاذبية على سحب الماء من حولها إلى الأسفل بقوةٍ أقوى بقليل من سحبها للكريات الدهنية، فتُعصر الدهون برقة نحو الأعلى، ما يعني أنها تتسم بحالة طفو خفيفة، وسترتفع ببطء شديد لأعلى مستوى في الحليب.

يتبادر إلى الذهن سؤال مفاده: ما مدى سرعة ارتفاعها؟ وهنا تأخذ اللزوجة أهميتها. إن اللزوجة ليست سوى مقياس لمدى قوة انزلاق طبقة أية مادة مائعة على طبقة أخرى. تخيّل أنك تقلّب كوبًا من الشاي، فمع حركة المعلقة الدائرية يتعين على السائل المحيط بالملعقة أن يتحرك ليتدفق متجاوزًا السائل الآخر التالي له. وطالما أن الماء ليس لزجًا فسيصبح من السهل على تلك الطبقات أن تتحرك متجاوزةً بعضها، لكن فكّر حينها بتقليب كأس من العسل، فكل جزيء من جزيئات السكر يمسك بالجزيئات التي تجاوره بإحكام شديد. ويتعين على من يريد جعل هذه الجزيئات تتجاوز مع بعضها أن يفصل من عُرى ذلك التشبث، ليسمح لهذه الجزيئات بحرية الحركة، ولذلك من الصعوبة بمكان زحزحة المادة المائعة من مكانها، لذا نقول إن العسل لزج.

تُدفع كريات الدهون في الحليب نحو الأعلى لأنها قابلة للطفو، لكن لكي تتحرك عاليًا عليها أن تدفع من طريقها السائل جانبًا، فيتحتم على السائل الأقرب لها أن ينزلق، كجزء من عملية التدافع، ولهذا فإن لزوجته تشكّل أهمية واضحة، وكلما زادت نسبة اللزوجة، زادت مقاومة ارتفاع كريات الدهون.

تنشب معركة حامية الوطيس تحت أقدام العصفور، فكل كرة دهون تدفعها نحو الأعلى قوة الطفو، تواجَه بقوة تجرّها، وذلك بسبب أن السائل من حولها عليه أن يتحرك لكي يجعلها تمر. والقوى ذاتها التي تؤثر في كريات الدهون يختلف فعلها تبعًا لأحجام كريات الدهون. وتأثير قوة الجر سيكون أكبر للأجسام الضئيلة عندما يكون سطحها أكبر بالنسبة إلى كتلتها، ولا تمتلك سوى قوة طفو قليلة لتدفع ما حولها من أشياء بعيدًا عن طريقها. وبالتالي إن وجدت كرات الدهون الأصغر في السائل ذاته، فإن صعودها سيكون أكثر بطْئًا من الكريات الأكبر منها. في عالم الأشياء الصغيرة تتفوق اللزوجة على الجاذبية على وجه العموم، وتتحرك الأجسام ببطء، وما يشكّل أهمية أكبر هو الحجم المضبوط.

تصعد في الحليب الكرات الدهنية الأكبر على نحو أسرع، وتصطدم بكرات دهنية أصغر وأبطأ، وتلتصق بها، مكونة عناقيد. وتواجه هذه العناقيد جرًا أقل لطفوها لأنها أكبر بكثير من الكريات المنفردة، فهي بالتالي تصعد أسرع بكثير. أما العصفور من الجانب الآخر فما عليه سوى الجلوس والانتظار في مكانه، وسيأتيه الإفطار إلى أمامه.

ثم جاءت عملية مجانسة الحليب ، إذ أدرك مصنعو الحليب أنهم إذا وضعوه تحت ضغط شديد عبر أنابيب ضيقة جدًا فسيكون بوسعهم كسر كريات الدهون، وتقليل قُطرها إلى الخُمس تقريبًا، وسيقلل ذلك كتلة كلٍّ منها إلى ١/١٢٥ من كتلتها الأصلية، وتتفوق قوى اللزوجة على قوة دفع الطفو الطفيفة التي توفرها الجاذبية على كل كرية، تفوقًا كاسحًا. تصعد كريات الدهون المتجانسة ببطء شديد إلى الحد الذي يجعلها لا تتكلف عناء ذلك ، وتتحول المعركة بمجرد أن تصبح أصغر إلى حلبة مختلفة، حيث يمكن للزوجة تحقيق نصر واضح، فلم تعد القشدة بناءً على ذلك تصعد للأعلى بعد الآن، وستضطر عصافير القرقف الأزرق إلى البحث عن مصدر آخر لإفطارها الصباحي.

إذن هي القوى نفسها، أما ما يختلف فهو التسلسل الهرمي ، فالغازات والسوائل تمتلكان اللزوجة على الرغم من أن جزيئات الغاز لا تلتصق ببعضها كما تلتصق جزيئات السائل، بل تتزاحم وتتصادم معًا كثيرًا، وتحدث التأثير نفسه الذي تحدثه لعبة سيارات الاصطدام، وذلك يفسر سبب عدم سقوط حشرة وقذيفة مدفع بالسرعة نفسها إلا إذا أُزيل الهواء كله وأسقطا في الفراغ... تُشكّل لزوجة الهواء أهمية أكبر بالنسبة إلى الحشرة، لكنها لا تكاد تُحدث أية أهمية لقذيفة المدفع. إذا أبعدنا

تأثير الهواء فستبقى الجاذبية القوة الوحيدة المهمة في الحالتين، وتستخدم الحشرة الصغيرة التي تحاول التحليق في الهواء الأساليب نفسها التي نستخدمها عند ممارستنا للسباحة على الماء، إذ تهيمن اللزوجة على كل ما يحيط بالحشرات تمامًا كما تهيمن علينا في حمام السباحة، فأصغر الحشرات إنما تمارس السباحة عبر الهواء أكثر مما تمارس التحليق.

يشرح الحليب المتجانس هذا المبدأ، لكن تطبيقاته تتجاوز هذه النقطة إلى ما هو أبعد بكثير، فعندما تعطسون يجدر بكم التفكير بحجم قطرات الرشح التي تنثرونها حول الغرفة، فما يعمل على منع القشدة من الصعود لأعلى الحليب يعمل كذلك على منع الأمراض من النزول إلى الأسفل.

حلّ مرض السل [أو الدرن] على البشرية منذ آلاف السنين، أما أقدم حالة مسجلة بالإصابة به فوجدت في مومياء مصرية قديمة تعود إلى ٢٤٠٠ سنة قبل الميلاد؛ وعرفها أبقراط في عصره باسم «الانضمار» سنة ٢٤٠ قبل الميلاد. وقد تداعت العوائل الأوروبية الحاكمة لصنع علاج لما أسموه «شر الملوك» في زمن العصور الوسطى. وعلى إثر جذب الثورة الصناعية لعموم الناس ليعيشوا في المدن، أمسى مرض «الدرن» المنتشر في الأحياء الفقيرة مسؤولًا عن ربع حالات الوفاة في إنكلترا وويلز في أربعينات القرن التاسع عشر. ولم يكتشف الفيروس المسبب له إلا سنة ١٨٨٢، وهي بكتيريا ضئيلة الحجم تسمى طبيًا «المتفطرة السليّة» . وقد وصف تشارلز ديكنز في رواياته المنظر الشائع للسعال الدرني، لكن لم يكن بوسعه الكتابة عن أهم جانب لهذا الداء، وذلك لعدم قدرته على رؤيته.

إن مرض السل من الأمراض التي تنتقل عبر الهواء، إذ يخرج مع كل سعال من الرئتين المصابتين آلاف من قطرات الرذاذ بحالة مائعة لتنتشر كجنودٍ ضئيلي الحجم، حيث تحتوي كلّ منها على بكتيريا سُلية، على شكل أعواد جرثومية ضئيلة، طول كل واحد منها ثلاثة أجزاء من الألف من المليمتر. على أن قطرات الرذاذ المائعة تظهر في البداية كبيرةً، إذ يبلغ طولها ربما بضعة أجزاء من العشرة من المليمتر. تسحب الجاذبية هذه القطرات الصغيرة نحو الأسفل وفور أن تطأ الأرض فلن تذهب بعيدًا على أية حال، لكن هذا لا يحدث بسرعة لأن ما هو لزج ليس السوائل وحدها، فالهواء لزج أيضًا، فلا بد من إزاحته عن الطريق لتتحرك القطرات عبره. ومع حركة القطرات للأسفل تصطدم بها جزيئات هواء وتتزاحم معها مما يبطئ من حركة هبوطها، وعلى غرار القشدة التي تصعد ببطء عبر

الحليب اللزج إلى أعلى القنينة، تتخذ هذه القطرات الصغيرة مسارًا للانزلاق عبر الهواء اللزج لتطأ الأرضية.

معظم ما تتكوّن منه هذه القطرة هو الماء، وفي غضون الثواني الأولى القليلة لها في الهواء الخارجي، يتبخر الماء. وما بدأ على أنه قطرة كبيرة مناسبة للجاذبية لسحبها من خلال الهواء اللزج انتهى إلى محض هباءة صغيرة، وكظل لشكلها السابق. فإذا كانت في الأصل قطرة من بصقة تحمل بكتيريا سل تحوم بداخلها فستصبح بكتيريا سل معبأة بعناية مع بقايا تخثر عضوي. لا تُضاهى قوة سحب الجاذبية لهذه الحزمة بقوة رفع الهواء، فحيثما يذهب الهواء تذهب البكتيريا، فهي لن تختلف عن القطرات الدهنية المصغّرة في الحليب المتجانس في وقتنا الراهن، وأشبه بمجرد مسافر في رحلة. وإن حطّت رحالها على شخص ذي جهاز مناعة ضعيف فقد تنشئ لها مستعمرة جديدة، وتنمو ببطء، إلى أن تمسي البكتيريا جاهزة لكي يخرجها صاحبها بالسعال مرة أخرى، لتبدأ دورة جديدة.

إن مرض السل قابل للعلاج إذا توفرت العقاقير الدوائية الصحيحة، وهذا ما يفسر سبب اختفائه تقريبًا من العالم الغربي. لكن ما زال يعد هذا الداء حتى وقت كتابة هذه السطور ثاني مسبّب للموت من بين الأمراض المهلكة بعد مرض نقص المناعة المكتسبة (الإيدز)، وهو مرض يمثل مشكلة عظمى في الدول النامية. أصيب ٩ ملايين إنسان بمرض السل في عام ٢٠١٣، وتوفي منهم مليون ونصف المليون. لقد غيّرت البكتيريا من شكلها وسلوكها كردة فعل لمواجهتها المضادات الحيوية، إذ أصبحت تقاوم موجات العقاقير مما يصعب عملية استئصالها باستخدام الدواء وحده. وعدد سلالات بكتيريا السل المقاومة للعقاقير المتنوعة آخذ في الازدياد، وغالبًا ما تظهر حالات تفشي الوباء في المستشفيات والمدارس، ولذلك تسلّط التركيز مؤخرًا على هذه القطرات الصغيرة. فما رأيكم بتغيير بنايات منازلكم لمنع انتشار ذلك الرذاذ المشحون بالمرض حتى لا يصيبكم من الأساس، بدلًا من علاج السل فور أن يصيبكم؟

تعمل كاث نوكس في قطاع الهندسة المدنية في جامعة ليدز، وهي أحد الباحثين الذين يحرزون تقدمًا في هذا المجال العملي. وكاث متحمسة للغاية حول الإمكانيات المنتظرة من الحلول البسيطة نسبيًا التي تنشأ من فهم متطور للجسيمات الطافية الضئيلة. يتعلم المهندسون أمثالها كيفية انتقال المواد الضئيلة الحاملة للأمراض، إذ تبيّن أن هذا ليس له أي علاقة بما يوجد فيها من مكونات داخلية، وبالمدة التي

استغرقها مكوثها فيها، بل له علاقة كاملة بتجاذب القوى الواقعة على الجسيم، وأما خطوط التجاذب فيرسمها حجم الجسيم. وقد اكتُشف أن القطرة الأكبر من مثيلاتها يمكنها الانتقال إلى ما هو أبعد مما يتصوره أحد، لأن الاضطرابات في الهواء يمكن لها أن تبقيها مرتفعة . ويستطيع أصغرها أن يبقى في الهواء لأيام كاملة، مع أن الشعاع فوق البنفسجي والضوء الأزرق يتسببان لها بالضرر. إذا علمنا أين تقع جسيماتنا في مقياس الحجم فيمكننا إدراك المكان الذي ستذهب إليه، لذلك إذا كان ثمة من يصمم نظام تهوية لمستشفى، فقد أصبح بالإمكان وضع خطة لإزالة أحجام الجسيمات أو احتوائها، وبالتالي التحكم بانتشار الأمراض. وتخبر كاث أن كل مرض محمول جويًا قد يتطلب خطة هجوم مختلفة حسب الكمية التي قد يتسبب بها المرض (في حالة الحصبة فهي كمية قليلة جدًا)، والموقع الذي يستقر فيه المرض في الجسم (بكتيريا السل لها تأثيرات مختلفة في الرئتين والقصبات الهوائية). ما زالت هذه الدراسات في أطوارها الأولى، غير أنها تتقدم بسرعة مذهلة.

ظل البشر تحت رحمة مرض السل لأجيال، لكن أصبح بمقدورنا الآن الكشف عن مدى انتشاره، مما يمنحنا الفرصة للتحكم به. وفي حين لم يرَ أسلافنا سوى غرفة ملوثة بالمرض وغارقة بجو خانق من دون إدراك السبب، وقد أصبحنا ندرك الآن حركة الالتفاف الدقيقة للهواء حول كل مريض، وكذلك توزيع جسيمات المرض وتفرّعاته وكيفية إحداث النتائج لتأثيراتها. وسوف تُدمج نتائج هذا البحث في تصاميم المستشفيات مستقبلًا، وستنقذ الهندسة على المقياس الكبير أرواح كثير من الناس من تأثير الجسيمات على المقياس المجهري.

تشكّل اللزوجة أهمية عند تحرك جسم صغير خلال كرة مائعة دهنية متصاعدة في الحليب، أو سقوط فيروس ضئيل الحجم في الهواء، أما شريك اللزوجة في عالم الأجسام الصغرى ألا وهو الشد السطحي، فيحتل أهميته في المكان الذي تتلامس فيه مواد مائعة مختلفة، ويمثل هذا عادةً بالنسبة إلينا مكان تلاقي الهواء بالماء، والمثال المفضل لجميع الناس بامتزاج الهواء بالماء هو الفقاعة ، فلنبدأ إذن بحمام من الفقاعات.

يمتاز صوت ملْء حوض الاستحمام بالبهجة، فهو يعلن عن مكافأة فورية بعد يوم شاق، فالغطس فيه يعيد الانتعاش بعد لعب مباراة تنس صعبة أو عقب ممارسة أي رياضة أخرى. في اللحظة التي تصب فيها مكون الفقاعات في الحوض يتغير

الصوت، فيصبح الصوت العميق أكثر نعومة، ويهدأ ما إن تتراكم الرغوة، ويصبح من الصعوبة التعرف إلى النقطة الفاصلة التي يتوقف فيها الماء ويبدأ فيها الهواء. وتُحاصر جيوب من الهواء داخل أقفاص مائية، ولا يتطلب إحداث كل هذا سوى كمية قليلة جدًا من المواد في قنينة.

وقع على عاتق مجموعة من العلماء الأوروبيين في أواخر القرن التاسع عشر مسألة تحليل لغز الشد السطحي وتفكيكه. لقد عشق الفيكتوريون الفقاعات، وتوسع إنتاج المستحضرات الصابونية توسعًا عارمًا بين عامي ١٨٠٠ و١٩٠٠، وعملت الرغوة البيضاء بلا كلل على غسل عمّال الثورة الصناعية. ووفرت الفقاعات للفيكتوريين إشباعًا جيدًا لتقديم الوعظ والنصح، فقد مثلوا النموذج الأسمى للنظافة والبراءة النقية. وكانت (أي الفقاعات) تشكل كذلك نموذجًا لطيفًا لشرح الفيزياء التقليدية، وذلك قبل سنوات قليلة من ظهور النسبية الخاصة وميكانيكا الكم، اللتين قوضتا الفكرة المتضخمة لكونٍ مرتب ومنسق وحسن السلوك، لكن مع ذلك لم يستنبط أولئك الرجال الجادون بقبعاتهم ولِحاهم أسرار علم الفقاعات من تلقاء أنفسهم، فالفقاعات كانت من الانتشار والذيوع بحيث إن أي أحد له أن يجري محاولته لفهمها. وهنا تدخل آغنيس بوكليز سجلات التاريخ وهي التي توصف غالبًا أنها محض «ربة منزل ألمانية»، لكنها حقًا مفكرة خطيرة وحادة الذكاء، إذ نجحت باستخدام ما توفر لديها من مواد محدودة، وجرعة محترمة من العبقرية، لفحص ظاهرة الشد السطحي من تلقاء نفسها.

كانت آغنيس، التي ولدت سنة ١٨٦٢ في مدينة البندقية الإيطالية، تنتمي إلى جيل يؤمن إيمانًا ثابتًا أن النساء مكانهن البيت، فبقيت فعلًا في بيتها، في حين ذهب شقيقها للدراسة في الجامعة، غير أنها تعلمت الفيزياء المتقدمة من الكتب الدراسية التي أرسلها إليها، وعكفت على إجراء تجاربها في البيت، وحافظت على مواكبتها لما يجري من مستجدات في الوسط الأكاديمي. وعندما تنامى إلى مسامعها أن الفيزيائي البريطاني ذائع الصيت اللورد ريليه شرع بالاهتمام بظاهرة الشد السطحي، وهي ظاهرة أجرت عليها تجارب عدة، كتبت له رسالة، فتأثر الرجل تأثرًا بالغًا برسالتها التي تشرح نتائجها التي وقفت عليها، فما كان منه سوى نشر فحواها في مجلة «نيتشر» [الطبيعة] ليطلع عليها جميع مفكري العلوم العظماء في ذلك الزمن.

ما قامت به آغنيس بالغ البساطة والذكاء في آن واحد، فقد علّقت قرصًا معدنيًا صغيرًا (قطعة صغيرة بحجم زر تقريبًا) بطرف خيط ووضعته على سطح ماء، ثم قاست كمية القوة المطلوبة لسحبه بعيدًا عن السطح، وتجلّى الأمر الغامض بتشبث الماء بالقرص، إذ تعيّن سحبه لانتزاعه من سطح الماء قوة أكبر من القوة المطلوبة لالتقاطه عاليًا من على سطح الطاولة، إنّ ذلك السحب من الماء هو ما نطلق عليه اسم الشد السطحي، فعملية قياس آغنيس للسحب هي في حقيقتها قياس للشد السطحي، إذ مكّنها ذلك من تفحص سطح الماء على الرغم من أن الطبقة الرقيقة من الجزيئات والمسؤولة عن السحب كانت أصغر بكثير من أن تلاحظها بالعين المجردة. سنرى كيفية حدوث ذلك خلال لحظات، لكن دعونا قبل ذلك نعود إلى الحمام.

إن حوض الاستحمام المليء بالماء النقي يُعدّ حشدًا متزاحمًا من جزيئات الماء التي تمارس لعبة مزدحمة من سيارات الاصطدام، لكن ما يجعل الماء - تحديدًا- سائلًا مميزًا هو أن جميع تلك الجزيئات مترابطة بقوة مع جميع جزيئات الماء الأخرى من حوله، فكل واحدة منها فيها ذرة أكسجين كبيرة وذرتا هيدروجين صغيرتان (أي اثنان من رمز H وواحد من رمز O في معادلة HO2). تتوسط ذرة الأكسجين ذرتي الهيدروجين العالقتين معها من جانبيها، مكونين معًا شكلًا أجوف يشبه حرف V، لكن مع أن الأكسجين ملتصق بشدة بذرتي الهيدروجين التابعتين له، ومربوط بهما، إلا أن هذا لا يمنعه من جذب الذرات الأخرى التي يصادفها في مرورها، ولذلك لا تملّ ذرة الأكسجين ولا تكلّ من شد الهيدروجين من جزيئات الماء الأخرى، وهذا ما يجعل الماء متماسكًا، وهو ما يُطلق عليه الترابط الهيدروجيني، ويتسم بالقوة الشديدة. تعمل جزيئات الماء عند الاستحمام على السحب المستمر للجزيئات المائية الأخرى من حولها، مما يجعل كتلة الماء بأسرها مشدودة شدًا متلاصقًا.

تُترك جزيئات الماء على السطح لوهلة قصيرة، غير أنها ما تلبث أن تصبح عرضة للسحب من جزيئات الماء من أسفلها، لكن ما من شيء يعمل على سحبها للاتجاه الآخر، فتُسحب بالتالي نحو الأسفل، ومن الجانبين، ولكن ليس للأعلى، وتأثير هذا هو جعل السطح يبدو كصفحة مرنة تسحب بإحكام جميع جزيئات الماء تحت الطبقة العلوية، وتسحب نفسها داخليًا لكي تصبح أصغر ما هو ممكن. ذلك هو الشد السطحي.

فور فتح الحنفية، يُحمل الهواء للأسفل، ونحو حوض الاستحمام، مكونًا بذلك فقاعات، لكن تلك الفقاعات تطفو عاليًا على سطح الماء ولا تستمر. وتعمل القبة التي كوّنتها كثرة الفقاعات على تمدد السطح، غير أن الشدّ السطحي ليس له قوة كافية لسحبها مجددًا، والنتيجة أن الفقاعات تنفجر.

أحد الأمور التي فعلتها آغنيس أنها جهزت الزر المخصص للتجربة ليتم سحبه نحو الأعلى، لكن ليس إلى الحد الذي ينزعه من السطح، ثم أسقطت على سطح الماء القريب قطرة مما يشبه مادة منظفة، وبعد ثانية أو نحوها يطفو الزر على السطح، وقد انتشرت المادة المنظفة على الماء، وقلّلت من نسبة الشد السطحي. وكل ما يتطلبه تقليل الشد السطحي هو توفير طبقة نحيفة علوية لكي لا تكون جزيئات الماء هي الجزيئات التي تظهر على واجهة السطح.

عندما يحين الوقت لصنع حوض استحمام من الفقاعات فسيكون هذا وقت توديع السطح المصغّر والمستوي والنظيف، فالمقدار القليل من المادة اللزجة المعطرة يُحمل نحو أسفل الماء، وتبذل فورًا ما بوسعها للاختباء عند الحواف، ويمتلك كل جزيء طرفًا يحب الماء وآخر يكرهه، فإذا وجد الطرف الذي يكره الماء بعضًا من الهواء فسيبقى معه، لكن الطرف العاشق للماء لا يذعن من جانبه لذلك. وبالتالي في أي مكان يتلاقى فيه الماء بالهواء تحتل طبقة نحيفة من فقاعات الاستحمام مكانًا لها على ذلك السطح. إنه مجرد سُمْك جزيء واحد، ويتشابه شكل كل جزيء مع ما حوله بحيث تظل الأطراف المحبة للماء عائمة في الماء، وتبقى الأطراف الكارهة للماء طافية في الهواء. وفي ظل هذه الطبقة الخارجية النحيفة لا يكون السطح الكبير هو المهم، ولا توفر فقاعة الاستحمام ذلك السحب القوي الذي يوفره الماء، فيصبح بالتالي تأثير الصفحة المرنة ضعيفًا فعلًا، وكأن وقت إقامة حفلة للسطح متمثلة بالرغوة قد حان. وعلى إثر تقليل الشد السطحي، تسهّل فقاعة الاستحمام على الفقاعات الأخرى أن تستمر وتدوم لأن سطحها الكبير أكثر استقرارًا.

لعل من الجدير بالذكر هنا أننا نقرن الرغوة البيضاء بنظافة الأشياء تنظيفًا فعالًا، لكن أفضل المواد العالقة على السطح والتي تصنع الرغوة في المنظفات الحديثة، ليست هي أفضل المواد لإزالة الأوساخ والدهون من الملابس والأطباق، فيمكن صنع مادة منظفة لا تكاد تصنع رغوة على الإطلاق، والحقيقة أن الرغوة غالبًا ما تقف حجر عثرة في طريق التنظيف السليم، غير أن مزودي منتجات التنظيف قد

أبلوا بلاءً حسنًا بإقناع الناس أن الرغوة البيضاء هي ضمانهم لعملية تنظيف تامة، إلى أن انتهى بهم المطاف إلى حشر أنفسهم بالزاوية. وقد أضيفت الآن مواد رغوية لضمان ظهور الفقاعات لأنه بخلاف ذلك سيشتكي المستهلكون.

وعلى غرار اللزوجة، نشعر بالشد السطحي على مستوى أحجامنا الطبيعية، مع أنه ذو أهمية أقل من الجاذبية والقصور الذاتي، فكلما أخذ الجسم بالصغر، يشق الشد السطحي طريقه نحو أعلى تسلسل لقوى الطبيعة، وهذا يفسر عمل غشاوة الضباب على النظارة الواقية من الماء، والمناشف، والفوط كذلك. ويكمن الجمال الحقيقي في عالم الأشياء الصغيرة أنه بوسعنا أن نضمّن كثيرًا من العمليات متناهية الصغر في جسم عملاق واحد، وتتراكم تأثيراتها مع الوقت. فعلى سبيل المثال: تبيّن أن الشد السطحي، الذي لا تظهر هيمنته إلا في الحالات الصغرى، يجعل كذلك من اليسير على المخلوقات الضخمة المعيشة في كوكبنا، لكن حتى نصل إلى ذلك، علينا أن نتطلع إلى جانب آخر من الشد السطحي. ماذا يحصل عندما يصطدم السطح الذي يفصل الغاز عن السائل بمادة صلبة؟

لقد ظهر لي أن أول سباحة مارستُها في المياه المفتوحة لا تصلح لخائري العزم، ولم أعرف ذلك مسبقًا لحسن الحظ، فلم أقلق من شيء. عندما عملت بمؤسسة سكريبس لدراسة علم المحيطات في سان دييغو، أقيمت الدورة السنوية الكبرى لفريق السباحة الذي انضممت إليه، وذلك بقطع المسافة البحرية من شاطئ لاجوفا إلى مرفأ سكريبس ذهابًا وإيابًا والبالغة ٤,٥ كيلومتر عبر واد مائي كبير العمق. لم أسبح قبل ذلك كما ينبغي إلا في حمامات السباحة، غير أنني مستعدة دائمًا لخوض تجارب جديدة، كما أنني مارست السباحة كثيرًا. وهكذا حضرت في الموعد على أمل ألا أبدو كثيرًا بين السباحين كمبتدئة، كان هناك حشود مبعثرة نوعًا ما عند المدخل الكبير للماء، لكن تحسن الوضع بعد ذلك. أما أول أجزاء مسافة السباحة فكانت العبور من أعلى غابة أعشاب بحرية مدهشة حيث بدوت كما لو أنني أحلق عاليًا. لاحت الشمس عبر سيقان الأعشاب الطويلة والضخمة كما تلوح في غابات اليابسة، ثم اختفت الأعشاب الطويلة في أسفل الأعماق المعتمة، ما ذكرني بوجود مخلوقات عدة تسبح هناك ولا أراها. حال أن تجاوزنا الأعشاب تلاطمت موجات الماء وتقلبت، وتحتم عليّ تكريس انتباه أكبر للمكان الذي أسبح فيه بعد أن تزايدت صعوبته. ظهر المرفأ ضبابيًا على مرمى الأفق،

ولم أتمكن من رؤية شيء في الأسفل البتة، وبعد وقت طويل قليلًا أدركتُ أن سبب اختفاء الرؤية من عيني يعود إلى أن نظاراتي قد اعتلاها الضباب... آه.

تبخّر العرق داخل نظاراتي الواقية البلاستيكية من الجلد الدافئ حول عينيّ، وكلما بذلت جهدًا أكبر زاد التبخّر، وتحوّل الهواء الذي انحصر بين عينيّ ونظاراتي إلى ما يشبه بخار ساونا مصغّرًا وساخنًا ورطبًا. لكن جو المحيط من حولي لطيف وبارد، وبالتالي أصاب نظاراتي التبريد من الخارج. عندما اصطدمت جزيئات الماء في الهواء بالبلاستيك البارد اللطيف تخلّت تلك الجزيئات عن حرارتها وتكثفت وعادت لحالتها السائلة مرة أخرى، لكن لم تكن هذه المشكلة، إنما ظهرت المشكلة الحقيقية في أن كل تلك الجزيئات التي عثرت على بعضها في داخل نظاراتي علقت معًا بطريقة انجذبت إلى بعضها أكثر من انجذابها إلى البلاستيك. كان الشد السطحي يسحبها داخليًا مجبرًا إياها على التجمع على شكل قطرات صغيرة حتى تعمل على تكوين أصغر سطح ممكن. كل قطرة لها حجم ضئيل جدًا، ربما يبلغ قطرها ١٠-٥٠ ميكرونًا. ولهذا فإن الجاذبية بسيطة بالمقارنة مع قوى السطح التي تلصق الجزيئات بالبلاستيك، فلم يكن ثمة معنى للانتظار على أمل أن تتساقط.

عملت كل نقطة من القطرات كأنها عدسة، إذ قامت بثني الضوء الذي يصلها وعكسه، وعندما رفعت رأسي لأبحث عن المرفأ، تشوّش الضوء المنتقل مباشرة لعيني من أثر القطرات التي عملت على تشفير الصورة أمام عيني، كما يعمل تمامًا منزل المرايا المصغر، بحيث إنني كنت أنظر إلى ضباب معتم وملتبس. توقفت للحظات لأمسح النظارات، فتمتعت لبرهة برؤية واضحة جدًا للمرفأ مجددًا، لكن الضباب ما لبث أن عاد، أمسح، ثم يعود الضباب، وأمسح... إلى أن تتبعت مسار رفيقتي القريبة مني في السباحة لأنها ارتدت قبعة حمراء فاقعة اللون، فاللون الأحمر يخترق تلك القطرات المائية السخيفة.

توقفنا مؤقتًا عند وصولنا للمرفأ للتأكد من سلامتنا جميعًا، ولما توفر لي بعض من الوقت للتفكير تذكرتُ أخيرًا معلومة تلقيتها منذ أسبوع فقط، أو نحوه، من غوّاص تحت الماء، إذ نصح بضرورة البصق على النظارات ودعك البلاستيك من الداخل، وقد جعلتُ من نفسي أضحوكة بحلول ذلك الوقت، لكني لم أشأ العودة أدراجي عمياء على طول طريق غابة الأعشاب البحرية، فبصقت، فاختلفت تجربة سباحة الإياب اختلافًا تامًا. وكان سبب ذلك جزئيًا أن رفيقتي في السباحة سئمت

وأعربت عن رغبتها بإنهاء كل العملية بسرعة، فاضطررتُ للكفاح لمواكبتها، غير أن السبب الأكبر تمثل بقدرتي على الرؤية، إذ رأيتُ سباحين، وأعشاب بحرية طويلة، والشاطئ الذي نقصده والسمك الفضولي الذي يظهر عرضًا. لِلُعاب البشر تأثير يشبه نوعًا ما تأثير المواد المنظفة، فهو يضعف من تأثير قوة الشد السطحي، فنظاراتي الواقية ما زالت في تلك الأثناء كحمام ساونا مصغّر والماء ظل يتبخر، لكن الشد السطحي لم يعد قويًا بما يكفي لتتجمع القطرات عليها، فتضاءل تأثيرها ليظهر كَمَحْض شريط نحيف يغطي السطح بأكمله. وطالما زال وجود النتوءات والبقع والتخوم المائية، سَهُل على الضوء الانتقال بخط مستقيم، وسهلت عليّ الرؤية بوضوح. وخرجت من الماء عند عودتي للشاطئ وأنا مبتهجة، تارةً لتنفسي الصعداء لإنهائي السباحة، وتارةً أخرى لحصولي على امتنان جديد لما قدّمه عالم السباحة تحت الماء.

فهذه إحدى طرق منع كثرة الضباب وتكاثره على أسطح الأشياء، بنشر طبقة رقيقة من خافض التوتر السطحي على السطح. وكثير من الأشياء تقوم بهذه العملية، كاللعاب أو الشامبو أو صابون الحلاقة أو مضادات الضباب التجارية المكلفة. إذا جهز خافض الشد السطحي وأصبح بمتناول اليد، فسيتم تغطية أي ماء يتكثف بذلك الخافض. إننا نعمل على إضعاف الشد السطحي إذا ما وفرنا تلك التغطية، ونحرف تجاذب القوى في كل قطرة ضباب حتى يغطي الماء البلاستيك بالتساوي. قد يعلق الماء على سطح النظارات بأكملها طالما لا توجد قوى تسحبه بعيدًا. ويُعد الشد السطحي القوة الأخرى الوحيدة التي لها فرصة في التنافس، فعندما نُضعِف ذلك تختفي المشكلة .

إذن فأحد الحلول هو تقليل الشد السطحي، لكن ثمة حل آخر كذلك، ألا وهو زيادة جاذبية النظارات الواقية. تعمل القطرة من تلقاء نفسها على امتصاص ذاتها لتتحول إلى كرة، وإن وضعناها على بلاستيك أو زجاج ستبقى عالية ولا تكاد تتلامس، إذ ستدور جزيئات الماء على نفسها إلى أن تلمس البلاستيك بأقل عدد ممكن منها، لكن إذا وضعنا القطرة على سطح صلب يجذب جزيئات الماء ويمتلك تقريبًا ذات قوة الجزيئات المائية الأخرى، فسيدنو الماء نحو ذلك السطح، وبدلًا من قطرة شبه دائرية حيوية، سنحصل على نقطة سائلة مسطحة تمس السطح كما تمس ما يجاورها. أصبحتُ هذه الأيام أشتري نظارات واقية فيها غطاء من الداخل يجذب الماء وتسمى «مُسترطب» . لا يكف الماء عن التكثف، لكنه ينتشر ويتوزع على

طول السطح منجذبًا نحو الغطاء، فلا مفر من حدوث التكثف في النظارات الواقية من الماء، أما تكاثر الضباب فيها وتعميته للرؤية فأصبح شيئًا من الماضي .

إن لتحجيم قوة الشد السطحي منافعه، لكن الجذب بين جزيئات الماء يتسم بالقوة الشديدة، وكلما قلّ حجم الماء الذي يَعنينا زادت أهميته، فالمنفعة الحقيقية التي يسديها لنا الشد السطحي إنما تتمثل في عملها على الأحجام الصغيرة. فلم تعد هناك حاجة إلى المضخات والمثاعب وكميات كبيرة من الطاقة لتحويل المياه، بل نحن بحاجة إلى تصغير الأشياء بما يكفي لتحييد الجاذبية وترك الشد السطحي يقوم بالعمل الصعب. صحيح أن عملية المسح والتنظيف مملة، لكن الدنيا من غيرها ستكون مختلفة للغاية.

أنا طباخة فوضوية، صحيح أنني أتمتع بالكفاءة، لكن اهتمامي ينصب على عملية الطبخ ذاتها أكثر من الآثار الكارثية التي أتركها ورائي، وهذا ما يجعلني متوترة عند استخدامي لمطبخ أناس آخرين. شرعتُ قبل عدة سنين في بولندا بصنع فطيرة تفاح لمجموعة المتطوعين الدوليين الذين عملت معهم في الكلية . لم تبدأ العملية على خير، فعندما سألت طباخة الكلية الطويلة والشرسة ما إذا أمكنني استخدام المطبخ، ردت بشيء من الحماس «نا»، فتحيّرت لبضع ثوان ثم تذكرت أننا نتحدث بالبولندية و«نا» هي كلمتهم التي تعني «نعم». لم تكن لغتي البولندية جيدة، ولم أَتَتَبّع جميع التفاصيل التي أتت بعد ذلك، لكنني استوعبت الرسالة القوية التي مفادها أن المطبخ يجب أن يُترك بحالة نظيفة، ونظيفة جدًا، وبدون أن يسكب فيه شيء، وأن يبقى نقيًا. فكان أول شيء فعلته في تلك الأمسية، وبعد أن غادرت الطباخة إلى بيتها وبدأت بتجميع المواد كلها، أنني أسقطتُ علبة حليب كبيرة مفتوحة.

كانت أول ردة فعل لي أن تمنيت بعقلي أن يختفي الحليب حتى لا تشعر بوجوده تلك الطباخة الصارمة. إن الحليب من المواد الزلقة والملتصقة، ولا يمكن التقاطه أو كنسه بعيدًا، وما انفكت تلك الرقعة المسكوبة منه بالتقدم والاتساع على أرضية المطبخ بمعدل منذر بالخطر. لكن توجد أداة لجمع الماء وإعادته كله إلى موضع واحد، إنها المنشفة.

فور أن لمست المنشفة الحليب، تسلّطت على السائل مجموعة جديدة من القوى. المناشف مصنوعة من القطن، والقطن يجذب الماء. وتعمل جزيئات الماء في الأبعاد الصغيرة على جذب نفسها نحو أنسجة المنشفة وتزحف ببطء فوق سطح

كل نسيج، وتمتاز جزيئات الماء بقوة جذب شديدة لبعضها، بحيث إن أول جزيء منها يلامس المنشفة غير قادر من تلقاء نفسه على الزحف نحو الأعلى، فلا يمكنه التحرك عاليًا إلا إذا جلب معه الجزيء التالي له، ويتعيّن على الأخير أن يجلب معه التالي له أيضًا، وهكذا دواليك. ولذلك فإن الماء يتحرك زاحفًا على أنسجة القطن جالبًا معه كل شيء آخر في الحليب، وتتسم القوى التي تلصق الماء بالمنشفة بقوة شديدة إلى الحد الذي لا مكان فيه لسحب الجاذبية السفلي على الإطلاق، فكل ما انسكب للأسفل سيعود للأعلى بكل سرور.

لكن هذه ليست سوى نصف القصة. تكمن العبقرية الحقيقية بالمنشفة في شكلها الريشي والزغبي، ولو غطت المنشفة أنسجتها بطبقة رقيقة من الماء فقط لما تسنّى لها أن تكون قادرة على تجميع كثير من السوائل، لكن ما يعلوها من زغب يمنح المنشفة كثيرًا من الجيوب الهوائية والقنوات الضيقة. حال أن يجد الماء طريقًا له نحو قناة ضيقة يُسحب للأعلى من جميع الجوانب، فتُجر جزيئات الماء في الوسط معه كذلك. وكلما ضاقت القناة توفر مزيد من السطح لكل نقطة ماء في الوسط. وتحتوي المناشف ذات الزغب على أسطح كثيرة جدًا، وفجوات ضيقة جدًا فيما بينها، وهذا ما يمكنها من امتصاص أكثر الماء.

مع مشاهدتي لاختفاء بقعة الحليب المنسكبة داخل المنشفة، تجمعت جزيئات الماء معًا وتدافعت داخل زغب المنشفة. كانت الجزيئات الموجودة في الأسفل تواكب التجمع المذكور، إذ التصقت بالجزيئات الأخرى القريبة منها، أما الجزيئات التي تلمس القطن فكانت تتشبث بالقطن وجزيئات الماء من الجانب الآخر ثابتةً بذلك في مواقعها. وأخذت الجزيئات التي تلمس المنشفة الجافة بالتعلق بالقطن الجاف الجديد وعملت، فور التصاقها، على سحب الجزيئات الأخرى التي خلفها، مما ملأ الفجوات في تركيب النسيج. وتجتهد الجزيئات على السطح بشد جزيئات الماء الأخرى الواقعة تحتها مباشرةً ساعيةً إلى إحاطة نفسها بأكبر عدد ممكن من جزيئات الماء وسحب الماء نحو الأعلى في الوقت ذاته، وهذه هي الخاصية الشَّعرية . كانت الجاذبية تعمل على سحب كل ذلك الحليب أينما وُجد في الزغب نحو الأسفل، غير أن الجاذبية لا تستطيع منافسة القوى التي تحافظ على تماسك الشيء بأسره، وهي الجزيئات التي بالأعلى، حيث لمس الحليب القطن الجاف داخل ملايين من الجيوب الهوائية الضئيلة، وفور أن قلّبت المنشفة وأدرتها، امتلأت مناطق مختلفة منها وحافظت على تخزين الماء في الجيوب.

سيستمر الماء في زحفه نحو الأعلى وعبر الفجوات والفراغات، جالبًا معه ماءً آخر، إلى أن تتوازن جميع تلك القوى الضئيلة من الجيوب المتعددة مع قوة الجاذبية المؤثرة في المنشفة. يفسر هذا سبب الانتشار السريع للسوائل نحو الأعلى لبضعة سنتيمترات، ثم توقفها عندما نغمس طرف المنشفة في الماء. يتوازن بدقة في هذه المرحلة وزن الماء مع السحب العلوي للشد السطحي، فكلما ضاقت القنوات في الزغب، توفر سطح أكثر للاشتراك بعملية الشد السطحي، وارتفع منسوب خط الماء. يمثل المقياس هنا أهميةً حقيقيةً، فإذا تخيلنا صنع زغب له شكل مماثل، ولكن أكبر بمئة ضعف، فلن تكون له قدرة على الامتصاص إطلاقًا، لكن عندما نقلص الشكل فإننا نعمل على تغيير التسلسل الهرمي للقوى فيصعد الماء للأعلى.

الجيد في هذا الأمر كله أننا إذا تركنا المنشفة لتجف خارجًا فسيتبخر الماء من تلك الجيوب ويتلاشى في الهواء، وما من شيء يتفوق على هذه العملية كوسيلة للتخلص من مشكلة ما، فالمنشفة تستدعي السوائل وتمسك بها إلى أن تختفي من تلقاء نفسها .

تقهقر الحليب المسكوب وأنهيتُ فطيرة التفاح، وتركت المطبخ في وضع نقي وملائم، لكن عانيت من مشكلة أخيرة ظلت عالقة، ولا يمكن لأية كمية من علم السطح أن تعينني على حلها، فقد ظهرت القشدة المخفوقة التي قدمتها مع فطيرة التفاح بشكل لا يدعو للسرور كما ظهر على أوجه متناوليها. لم تكن هذه أفضل طريقة لتعلم كلمة «حامض» بالبولندية، وهي الكلمة التي سبقت كلمة «قشدة» على الإناء المخصص لها، إلا أن المرء يعيش ويتعلم، ولن أكرر هذا الخطأ مرة أخرى.

يكمن السبب في صنع المناشف من القطن أن الأخير يتكون معظمه من السليولوز، وهي سلاسل طويلة من السكر تعلق بها جزيئات الماء بسهولة شديدة. وإن مواد مثل: صوف القطن ومنشفة المطبخ والورق الرخيص، تعد جميعًا من المواد الممتصة للماء، لأن فيها نسيجًا من الزغب الصغير الحجم، المصنوع من السليولوز المحب للماء. يتبادر إلى الذهن هنا السؤال الآتي: ما هي حدود هذه الفيزياء المعتمدة على الحجم؟ وإذا نجحنا فيزيائيًا بجعل هذه القنوات بأصغر حجم ممكن، فما الذي نصنعه بها؟ ليست المناشف وحدها هي التي تمتص الماء بقنوات ضئيلة مكوّنة من السليولوز. لقد وصلت الطبيعة قبلنا بمدة طويلة إلى هذه النقطة.

أما أضخم مثال على ما تستطيع فيزياء الأجسام الصغيرة فعله، فهو أشجار السيكويا العملاقة، وهي أكبر الكائنات الحية التي تعيش على كوكبنا.

***

يعمّ الهدوء والندى في الغابة، ويشعر المرء فيها كما لو أن الحال دائمًا هكذا، وكأن التغيير نادر هنا. وقد غطت أرض الغابة وبين جذوع الأشجار الطحالب والسراخس، وما من صوت يُسمع سوى أصوات عصافير لا تراها العين، وحفيف عميق غير مريح للأعصاب إثر حركة الأشجار وتمايلها. وتظهر السماء الزرقاء عاليًا بين الأغصان الخضراء سهلة الكسر، وتجري تحت قدمي المياه من كل مجرى، فالينابيع والبِرَك والتربة النديّة والجداول الطويلة كلها تجري وصولًا إلى أسفل الوادي، وغالبًا ما يوقظني عقلي الباطن في أثناء سيري لأنتبه، فثمة ظلمة تلوح في الغابة، إنه شيء لا يتناسب وسكينة المكان. ليس وحشًا آكلًا للحوم البشر، بل شجرة. إنها إحدى العمالقة الحقيقيين، وتبلغ من العمر ألفًا من السنين، وتقف مترصدة بين أشباهها الصغيرات، وشاخصة بظل أغصانها الوارف على الغابة.

كانت أشجار السيكويا الساحلية Sequoia sempervirens فيما مضى تغطي مساحات شاسعة من هذه المنطقة في شمال كاليفورنيا، أما في هذه الأيام فتقلصت هذه الغابات العظمى لتمسي محض جيوب صغيرة، وأقوم بزيارة أحد أشهرها على الإطلاق، ألا وهي المتوفرة في منتزه السيكويا الوطني الواقع في مقاطعة هومبولت. وتبدو هذا الأشجار العملاقة مذهلة لأن كل جذع شجرة منها مستقيم وعمودي تمامًا، ولا يتوقف ارتفاعه إلا عند عنان السماء. فأطول شجرة على الإطلاق في كوكبنا توجد في هذا المكان، إذ تصل إلى طول شاهق يبلغ ١١٦ مترًا . وقد مررتُ في أثناء تجوالي في ذلك المكان بأشجار يبلغ قُطر جذعها مترين أو أكثر. وما يزيد الذهول ذهولًا أن ما يتوارى في أعماق تجاعيد لحاء تلك الأشجار وضلوعها نمو مستمر لا يتوقف لحلقات دائرية جديدة، إنها أشجار حيّة، وتلتقط الأغصان الصغيرة دائمة الاخضرار التي يصل طولها إلى ١٠٠ متر الطاقة من الشمس وتخزنها فتصنع منها أشجارًا جديدة.

لكن الحياة تتطلب الماء، والماء متوفر في الأسفل حيث أقف، وبالتالي يتدفق الماء من حولي في الغابة دائمًا نحو الأعلى، ولم يمنع هذا التدفق شيء قط منذ أن خرجت كل شجرة من بذرتها. كانت بعض هذه الأشجار موجودة عند سقوط الإمبراطورية الرومانية، وقابعة في ضباب كاليفورنيا عندما اختُرِع البارود، وعند

تأليف كتاب ونشيستر ، وعندما عاث جنكيز خان فسادًا في بقاع آسيا، وعندما نشر روبرت هوك كتاب «الفحص المجهري» وحتى عندما قصف اليابانيون ميناء بيرل هاربر. ولم يتوقف الماء في أثناء هذه الأزمان كلها عن التدفق، والسبب الذي نحن واثقون منه أن تلك الآلية بأسرها تعتمد على تدفقٍ لا ينضب، وما من وسيلة لإعادة تشغيله، لكنه نظام جريان مائي ذكي، ولا يعمل على قدم وساق إلا من خلال تحفة خلابة من الهندسة المعمارية الحية التي تجعله يواصل عمله، وهي بعرض بضعة نانومترات فحسب.

ينتقل الماء في النسيج الوعائي الخشبي ، وهو نظام أنابيب سليولوزية دقيقة يصل جميع أنحاء الشجرة ويمتد من الجذور وحتى الأوراق. هذا ما يكون عليه معظم «الخشب»، مع أن الأجزاء الداخلية من الخشب لا تساعد بجريان الماء إذا كبرت الشجرة، ولا تكون الخاصية الشَّعرية، وهي الآلية التي جعلت منشفتي تمتص الماء، قويةً بما يكفي لامتصاص الماء للأعلى إلا لبضعة أمتار قليلة في أنابيب نسيج الشجرة، وهذا لا يفيد شجرة طويلة. على أن جذور الشجر قادرة كذلك على توليد طاقة ضغط خاصة بها لدفع الماء للأعلى في الأنابيب، لكن هذا بدوره لا يكفي سوى لدفع الماء بضعة أمتار قليلة أخرى نحو الأعلى. إذن أغلب هذه المهمة لا تتم بعملية الدفع، فالماء يُسحب أيضًا. ويوجد هذ النظام نفسه في الأشجار كلها، لكن أشجار السيكويا هي المتربعة على عرش ذلك بلا منازع.

جلستُ فوق جذع شجرة ساقطة على مقربة من إحدى مثيلاتها العملاقات، وتطلعتُ إلى الأعلى، ورفرفت في النسيم أوراق الشجر الصغيرة التي تعلو رأسي بمئة متر. إنها تحتاج إلى ضوء الشمس لكي تقوم بعملية التمثيل الضوئي، بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. يوفر الهواء ثاني أكسيد الكربون ويدخل إلى الشجرة من خلال جيوب ضئيلة توجد على الجانب السفلي من كل ورقة؛ المسامات . ويعمل جزء من الجدار الداخلي لكلٍّ من هذه الجيوب كشبكة من أنسجة السليولوز، ويوجد بين الأنسجة قنوات مليئة بالماء، وهذه هي أكبر أنابيب الماء، ومنها تتفرع مرارًا وتكرارًا أنابيب أصغر، مما يقلل من حجمها في كل مرة إلى أن تصل إلى المسامات. ويبلغ هنا، حيث تلامس أنابيب الماء الهواء، قطر كل واحدة منها ١٠ نانومتر تقريبًا . وتلتصق جزيئات الماء بإحكام بجوانب السليولوز لكل قناة، وينثني سطح الماء للأسفل بشكل وعاء - بقياس نانوي- ما بين ثناياها. يسخّن ضوء الشمس الورقة والهواء في داخلها، ويمنحها أحيانًا طاقة كافية ليعمل

أحد جزيئات ماء السطح على سحبها بعيدًا عن حشد الجزيئات من تحتها، ثم تنزاح جزيئات الماء المتبخرة من الورقة نحو الهواء، لكن تغير في هذه الأثناء شكل الوعاء ذي القياس النانوي، إذ أصبح عميقًا بشكل مبالغ به. يقوم الشد السطحي بسحبه إلى الداخل، أي سحب جزيئات الماء وتقريبها من بعضها لتقليل منطقة السطح، وتوجد جزيئات جديدة كثيرة يمكنها ملء الفجوة لكنها بعيدة في مؤخرة القناة، فيُسحب الماء في القناة إلى الأمام لتعويض الجزيء المفقود. ومن ثم يتعيّن على الماء الموجود بعيدًا في مؤخرة القناة التدوير للحلول محل ذلك، وهكذا دواليك حتى أسفل الشجرة. وبسبب ضآلة حجم القناة يمكن للشد السطحي أن يمارس عملية سحب هائلة للماء من تحته، وهو ما يكفي (عندما نضيف إلى ذلك مساهمة مليون ورقة أخرى) لسحب عمود كامل من الماء لأعلى الشجرة. إنها فكرة باهرة، فالجاذبية تسحب ماء الشجرة بأكمله نحو الأسفل، لكن التنسيق والتحالف الجاري بين قوى ضعيفة متعددة هو الذي تكون له اليد الطولى في المعركة . وهي ليست محض معركة ضد الجاذبية وحدها؛ فقوى التصعيد للأعلى تتغلب أيضًا على الاحتكاك من جدران الأنابيب إثر حشر الماء والتضييق عليه عبر القنوات الضئيلة.

تتصاعد في أرض الغابة الأشجار الصغيرة التي لا يتعدى عمرها العام، حيث تبدأ للتو أنابيبها المائية بالتشكل. وعلى إثر نمو الشجرة الصغيرة، يتمدد نظام الأنبوب فيها، لكنه لا ينشق ولا ينقسم أبدًا، ولهذا يعمل أعلى العمود المائي دائمًا على تندية ما بداخل المسامات. ما إن تنمو المسامات حتى يُسحب الماء نحو الهواء. ولا تستطيع الشجرة إعادة ملء الأنبوب إذا فرغ من الماء، لكن بمقدورها المحافظة على امتلاء الأنبوب مع نموها. ومهما طالت الشجرة فيجب ألا ينشق أو ينشطر هذا العمود أبدًا. أما سبب قرب أشجار السيكويا الطويلة من الساحل فيكمن في أن الضباب الساحلي يساعد أوراقها على البقاء نديّة ، فليس ثمة حاجة سوى لقليل من الماء ليصل إلى القمة من الجذور، ويكون بذلك النظام أكثر بطئًا والأشجار أعلى طولًا.

يُطلق على هذه العملية من تبخر الماء من أوراق الشجر «النتح»، وتحدث كلما نظرنا إلى شجرة تقع تحت ضوء الشمس. وهذه الأشجار العملاقة النائمة إنما هي في حقيقتها بمنزلة نواقل مائية هائلة، إذ تمتص الماء من قاع الغابة وتعيد توجيه بعض منه لعملية البناء الضوئي ثم تترك ما يتبقى منه ليفلت باتجاه السماء. تقوم كل شجرة بمثل هذه العملية، والأشجار إنما هي جزء حيوي لا يتجزأ من أنظمة

الأرض البيئية، وما كانت لترتقي عاليًا نحو عنان السماء من دون أن تأخذ معها الماء. وأجمل ما في ذلك أنها لا تحتاج إلى محركات أو مضخات نشيطة للقيام بهذه العمليات، فهي تقلص المشكلة وتحلها باستخدام قواعد الأجسام الصغيرة فقط، ثم تكرر العملية لملايين عديدة من المرات، بحيث يصبح ذلك فيزياء الأجسام العملاقة.

لقد ظل عالم الأجسام الضئيلة حيث تعمل قوى الشد السطحي، والخاصية الشعرية، واللزوجة المتفوقة على قوى الجاذبية، والقصور الذاتي، منذ الأزل جزءًا لا يتجزأ من حياتنا اليومية. قد لا تظهر لنا آليات عملها لكن نتائجها لا تخفى على العين، ولم نعد هذه الأيام محض مشاهدين معجبين بأناقة ما يحدث تحت أقدامنا وبغرابته، بل بدأنا مثل المهندسين نعمل داخل الأجسام الصغيرة، وأصبح هناك مسمى للمجال العلمي الخاص بجريان الماء في الأنابيب الصغيرة والمتنامي بسرعة، والذي يُعنى بالتحكم بالمواد المائعة المتدفقة عبر قنوات ضيقة وإدارتها، ألا وهو «علم الموائع الدقيقة» . أغلبنا غير معتاد على هذا المسمى الآن، لكنه سيحظى بتأثير كبير في حياتنا في المستقبل، خاصةً عندما يتطرق ذلك إلى الطب.

بوسع مرضى السكري في أيامنا هذه مراقبة معدل السكر في دمهم باستخدام جهاز إليكتروني ومقياس اختبار السكر، وستعمل نقطة دم صغيرة تلامس مقياس السكر فورًا على الانطلاق بسرعة نحو المادة الممتصة للسائل نظرًا لوجود الخاصية الشعرية. وينزوي إنزيم أكسيد الغلوكوز في المسامات الضئيلة في مؤشر المقياس، وعندما يتفاعل مع السكر في الدم يصدر إشارة إليكترونية، ويقيس الجهاز المحمول يدويًا تلك الإشارة، فيظهر مقياس دقيق لنسبة السكر في الدم على الشاشة. يسهُل رؤية هذا الأمر كتوصيف لما هو جلي وواضح؛ ورقة تمتص مادة مائعة لكي نتمكّن من قياسها، وماذا بعد؟ هذا محض عَرْض بسيط لذلك المبدأ، فالعملية تأخذ بالتعقيد بما يتجاوز ذلك بكثير.

لو كان بوسعكم تحريك مادة مائعة عبر أنبوب وفلاتر صغيرة، وجمعها في خزانات أو أحواض، ومزجها مع مواد كيميائية أخرى، ثم ملاحظة النتائج، فستتوفر لديكم مكونات المختبر الكيميائي كلها. لا حاجة بعد الآن لأنابيب التجارب الزجاجية وقطّارات الامتصاص المحمولة يدويًا، والمجاهر، فهذه هي الفكرة المتنامية الأساسية لصناعة «المختبر على رقاقة»، حيث يبرز تطوير أجهزة صغيرة لتنفيذ الاختبارات الطبية. ما من أحد يود أن يُستخلص منه قارورة دم، بل

يفي بالغرض مجرد قطرة دم صغيرة لن يصعب تسليمها. وقد تزايدت أجهزة الفحص الصغرى كثيرًا وأصبحت أرخص سعرًا وسهلة التوزيع، بل لم يَعد هناك حاجة لصنعها من مواد حديثة باهظة، مثل: شبه الموصلات والبوليمر، فالورق يتكفل بأداء المهمة.

تعكف على مثل هذه الدراسات مجموعة من باحثي جامعة هارفرد بقيادة البروفيسور جورج وايتسايد، فقد صمموا أدوات اختبار مصنوعة من ورق، وبحجم الطابع البريدي، لكنها في الوقت نفسه تتكون من متاهة قنوات الورق المحب للماء مع جدران شمعية كارهة للماء. وعند لمس قطرة دم أو بول للجانب الصحيح من الورقة، تجرّها الخاصية الشَّعرية نحو القناة الرئيسة وتشطرها إلى عدة أقسام ثم تعيد توجيهها إلى مناطق اختبار متنوعة. وتحتوي كل منطقة على مكونات عمل اختبار بيولوجي مختلف، ويتغيّر لون كل خزّان تبعًا لنتائج الاختبارات . ويشير الباحثون إلى أنه بإمكان أي شخص غير مؤهل طبيًا إجراء الفحص منزليًا، فما عليه سوى التقاط صورة للنتيجة بهاتفه، وإرسالها عبر البريد الإليكتروني إلى أي خبير في مكان بعيد ليفسرها. إنها فكرة ألمعية ومفيدة تمامًا. الورق رخيص، والجهاز لا يتطلب طاقة كهربائية، وخفيف الوزن، وكل ما يحتاجه المرء شعلة بسيطة للتخلص منه بأمان. وقد خضع، كغيره من الأجهزة الشبيهة، إلى كثير من التجارب والموازنات قبل أن نعلم على وجه اليقين إذا ما كانت هذه الفكرة البسيطة والاستطلاعية تستطيع الصمود في العالم الواقعي. لكن يصعب في حقيقة الأمر عدم الاقتناع أن أجهزة كهذه ستحتل، بطريقة أو بأخرى، مكانةً كبيرةً في مجال الطب في المستقبل.

تتجسد العبقرية من وراء ذلك في أننا عندما نواجه مشكلة معينة، فقد نمتلك القدرة على اختيار هندستها على مقياس الحجم الذي يسهّل حل تلك المشكلة، وهذا يماثل القدرة على اختيار أيّ من قوانين الفيزياء التي نريد تفعيلها لصالحنا. إن كلَّ صغيرٍ جميلٌ فعلًا.

الفصل الرّابع: لحظةٌ من الزمن السَّير نحو الاتّزان

أفضل مكان لقضاء وقت الغداء في يوم من أيام الأحد التي يسودها الخمول وعدم النشاط؛ هو في حانة إنكليزية صغيرة، وغالبًا ما تعطينا الأجزاء الداخلية لهذه الحانات انطباعًا أنها أماكن تنمو وتترعرع، لا تُبنى وتُصمم، فهي كومة من مساحات غريبة الشكل، وتبدو متوارية خلف هيكل خشبي من خشب البلوط، إذ يجلس المرء عند طاولة تقع بين أوعية نحاسية مصقولة ، وصور تذكارية من العهد الجورجي، ثم يطلب وجبة غداء ملائمة، ودائمًا ما يأتي الطلب بإناء من شرائح البطاطس وقنينة زجاجية من (الكتشب) ، لكن الجمع بينهما له عواقب وخيمة. لقد شهدت عوارض الحانات الخشبية لعقود طويلة طقسًا من الطقوس التي لا تندثر، إذ لا بد من استخراج الكتشب من قنينته ولن يحدث هذا من دون مقاومة.

تبدأ المسألة عندما يلتقط أحد المتفائلين الكتشب ويمسكه رأسًا على عقب موجهًا فتحته فوق وعاء البطاطس، لكن لا ينزل منه شيء، وما من أحد إلا ويواجهه موقف كهذا. إن الكتشب مادة كثيفة ولزجة، وقوة سحب الجاذبية الضعيفة لا تكفي لتحريكها داخل القنينة، وقد صُنع هكذا لسببين؛ أولهما أن اللزوجة تمنع البهارات من الهبوط نحو الأسفل لو تُركت القنينة لفترة من الزمن، فلا نضطر لهزه حتى نتأكد من امتزاجه جيدًا، لكن السبب الأهم أن الناس يفضلون بقاء طبقة كثيفة من الكتشب على كل قطعة بطاطس، ويتعذر هذا الأمر إذا كان الكتشب سائلًا. ومع ذلك، لم يخرج الكتشب نحو البطاطس بعد، فما زال في القنينة.

يبدأ متناول شرائح البطاطس المتفائل بهز القنينة، فقد ترسّخ لديه بعد بضع ثوان أن قنينة الكتشب محصنة من الجاذبية، مثلها في ذلك مثل قناني الكتشب الأخرى. يتدرج الهز حتى يصبح عنيفًا، وإلى أن يحين وقت الضربة القوية على مؤخرة القنينة باليد الأخرى، هنا يبتعد الجالسون حول الطاولة قليلًا ليتجنبوا تداعيات هذه المشاحنة، إذ سيندفع ربع محتويات القنينة فجأةً وبسرعة. وما يثير الاستغراب أن بمقدور الكتشب التدفق بسهولة وسرعة شديدة، فالطبقة الكثيفة من الكتشب التي تغطي الوعاء (وربما نصف الطاولة أيضًا) تمنح دليلًا دامغًا على ذلك، فهو لا يتدفق في البداية، لكنه سرعان ما يتدفق باندفاعٍ فائق. فما الذي يجري هنا بالضبط؟

السر في الكتشب أننا إذا حاولنا دفعه ببطء فسيتصرف كمادة جامدة، لكن حين نضغط عليه بقوة ليتحرك بسرعة، سيستجيب كسائل، وسيتدفق بسهولة كبيرة.

وعند استقراره في القنينة أو على شرائح البطاطس فلا يسحبه سحبًا ضعيفًا سوى الجاذبية، فيتصرف كجماد ويثبت في مكانه، لكن إذا قمنا بهزه بقوة كافية لجعله يتحرك سيتصرف كسائل ويتحرك بسرعة. إذن: المسألة كلها تتعلق بالزمن، ففعل الشيء ذاته بسرعة وببطء يمنحنا نتائج مختلفة.

يتكون الكتشب من الطماطم المخلوطة بالخل والبهارات، ولو ترك هكذا لظل نحيفًا ومائيًا، ولَمَا بَدَا شيئًا مثيرًا للاهتمام، لكن ثمة مادة متوارية في القنينة نسبتها ٠,٥ بالمئة؛ وهي جزيئات طويلة مكوّنة من سلسلة من السكر المترابط، إنها صمغ أو لبان الزانثان ، الذي تنميه البكتيريا، وقد أصبح مضافًا غذائيًا شائعًا. عندما توضع القنينة بشكل قائم على الطاولة تحيط هذه الجزيئات نفسها بالماء وتتشابك بدرجة خفيفة مع سلاسل أخرى شبيهة تعمل على تثبيت الكتشب في مكانه، ومع هز القنينة بقوة بِيَد صاحبنا المتحمس، تبدأ الجزيئات الطويلة بفك تشابكها شيئًا فشيئًا، لكنها تعيد التشابك مرة أخرى بسرعة، ومع عملية دفع مؤخرة القنينة للكتشب بسرعة أكبر يستمر التشابك بالانفصام والتفكك، وفي لحظة معينة تُدفع من مكانها بسرعة أكبر من إعادة تشابكها، وعلى إثر مرور هذه اللحظة الحاسمة تختفي الحالة الجامدة ويصبح طريق الكتشب للخروج من القنينة ممهدًا .

ثمة أسلوب آخر للتعامل مع هذه المشكلة، لكن نظرًا إلى مدى الوقت الذي يقضيه البريطانيون بتناول شرائح البطاطس التي يعلوها الكتشب، نتفاجأ أنه من النادر أن يلاحظ أحد هذا الأسلوب. لا يقدم أسلوب قلب القنينة رأسًا على عقب بدفعها من أسفلها كبير عون في هذه الحالة، لأن الكتشب الذي يُجبر على أن يصبح سائلًا ما يزال متجمعًا قرب مكان الدفع، وما يزال عنق القنينة مسدودًا بهذا المزيج شبه المائع الذي لا يتحرك قيد أنملة. أما الحل الذي يجعل الكتشب القابع في عنق القنينة سائلًا فيتمثل بمسك القنينة بطريقة مائلة ثم الطرق على عنقها، والكمية التي ستخرج بهذه الطريقة محدودة لأن الكتشب وحده هو الذي سيصبح سائلًا. وهكذا سينجو مَن يحيط بكم من متناولي الطعام من ضربات مرافق أذرعكم، ومن تناثر الكتشب عليهم، وستنجو كذلك شرائح البطاطس من الغرق بالكتشب.

إن الزمن يحتل أهمية كبيرة في العالم الفيزيائي، لأن السرعة التي تحدث فيها الأشياء مهمة فعلًا. إذا فعلنا شيئًا بضعف السرعة فسنحصل أحيانًا على النتيجة ذاتها لكن في نصف الزمن، لكننا نحصل في غالب الأحيان على نتيجة مختلفة تمامًا. هذا مفيد جدًا ونستخدمه للسيطرة على عالمنا بجميع الوسائل، فثمة زمن

كثير لاستعماله في السيطرة، بمعنى توفر أطر ومقاييس زمنية كثيرة ومختلفة يمكن للأشياء أن تحدث من خلالها، فالوقت مهم بالنسبة للقهوة والحمَام والمباني الشاهقة، كما أن مقياس الزمن الذي يشكل أهمية يختلف لكلٍ منها. لا يتعلق هذا بمجرد تغيير بسيط لأشياء في حياتنا من أجل راحتنا، بل تبيّن أن الحياة لا تصبح ممكنة إلا لأن العالم الفيزيائي لا يواكب نفسه في حقيقة الأمر. لكن دعونا نبدأ بالأشياء من بداياتها، ونستهل مشوارنا بمخلوق يُشتهر عنه عدم مواكبته لأي شيء، وهو مثل أعلى لمن يحتل المراكز المتأخرة دومًا.

أعترفُ أنه في يوم مشمس في كامبردج هزمني حلزون.

ليس من التقليدي تولي أعمال البستنة في أثناء السنة الأخيرة للتخرج، لكن كانت هناك حديقة في المنزل الذي تشاركت المعيشة فيه مع ثلاثة أصدقاء، مما جعل من مقاومة الإغراء صعبًا. فقمت خلال ساعات الفراغ المتقطعة بين العمل وممارسة الرياضة في تلك السنة بتشذيب كم كبير من نباتات القراص التي انتشرت في معظم الحديقة، فاكتشفتُ كنزًا مدفونًا على هيئة نباتات راوند وشجيرات زهرية. سخر مني أبي لزرع البطاطس قائلًا: «هذا شيءٌ من جنون»، لكنها كانت جزءًا من رقعة خضار جديدة فقط. أما أكثر ما يثير العجب في الموضوع أن ثمة بيتًا زجاجيًا مغبرًا يعجّ بالأنقاض وكرم العنب. أمكن للشتلات (أعتقد أنها كرّاث وشمندر) أن تنمو في هذه المحمية قبل الانضمام إلى رقعة الخضار في فصل الربيع. وغرست في أواخر فبراير/شباط بذورًا في أوعية وانتظرت نمو النباتات الجديدة.

كان من الملحوظ بعد فترة بسيطة أن الشتلات قد اختفت، وظهر أنه ثمة كثير من الحلزونات. وصلت للمكان وأنا ممسكة بعلبة سقاية لأجد أن كائنًا رخويًا قد جثم في وسط كل وعاء محاطًا بتربة جرداء وإشارة عَرَضية خضراء لبتلة مقضومة. وكي لا أستسلم للهزيمة، طرحت الحلزونات جانبًا وأعدت غرس البذور ووضعت الأوعية فوق أحجار مرتفعة لتصعيب زحف الحلزونات إلى داخلها، فإذا بالشتلات الصغيرة بعد أسبوعين قد اختفت وتكاثرت الحلزونات أكثر من ذي قبل! حاولتُ اتباع أساليب مختلفة لكن لم ينجح منها شيء، إلى أن تبقّت لديّ فكرة وحيدة؛ فأخذتُ هذه المرة آنيتين من أواني الزهور الفارغة ووضعت فوقهما بشكل متوازن صينيتي شاي وقلبتهما رأسًا على عقب لتبدوان كنبتتي فطر عملاقتين بساقين، ودهنتُ حوافهما معًا ووضعتُ أوعية الشتلات فوق الأطباق الصينية، ثم غرستُ

آخر البذور عقب إعادتي للسماد وتمنيت أن يحالفني الحظ، وأخيرًا عدتُ أدراجي أدرس فيزياء المادة المكثفة.

نمت الشتلات بلا عراقيل لما يقرب من ثلاثة أسابيع، إلى أن جاء اليوم الحتمي الذي وجدتُ فيه حلزونًا سمينًا يحتل بسرور مكان الشتلات. أتذكر أنني وقفت في البيت الزجاجي أحلل تحليلًا جنائيًا للمسارات المحتملة التي اتخذها هذا المخلوق، فظهر لي خياران محتملان، الأول أنه ربما زحف عاليًا داخل جدران البيت الزجاجي ليعبر من خارج السقف الجانبي ثم تمكن بطريقة ما من السقوط على الموقع الذي يقصده بالضبط وليهبط في وعاء البذرة، لكن بدا لي أنه احتمال غير مرجّح. أما الخيار الثاني فهو أنه قد زحف على طول دكة الجلوس وعلى جانبي آنية الزهور وصنع مخاطًا ليسير عليه مقلوبًا نحو الطرف الخارجي من الصينية، ثم زحف حول الحافة من دون أن يسقط، وشق طريقه ببطء على طول الصينية العلوي ليصل إلى الشتلات. عليّ أن أقرَ في الاحتمالين أن الحلزون ظفر بمكافأته . كيف تمكن حلزون أن يفعل ذلك؟ عليه في الحالتين معًا أن يزحف مقلوبًا رأسًا على عقب، ولا شيء يلصقه بالسطح سوى مخاطه الذي يفرزه داخليًا. إذا شاهدنا حلزونًا يتحرك فهو يختلف عن اليسروع (اليرقانة)، فهو لا يرفع نفسه عن السطح وهو يمضي في طريقه، بل يلصق نفسه بالمخاط الذي يصنعه، ومع ذلك ينجح بتحريك نفسه متنقلًا بين مكان وآخر. ويكمن سلاحه السري في ذلك المخاط الذي يفرزه لأن آلية عمله كالكتشب بالضبط.

إذا شاهدنا حلزونًا يتحرك فلن نرى شيئًا كثيرًا لأن الحواف الخارجية لقدمه لا تتحرك إلا بسرعة بطيئة ثابتة، فكل ما يحدث في أطرافه يحدث ببطء، ولهذا فإن مادته المخاطية تعمل كالكتشب الثابت؛ فهي ثخينة ولزجة وذات حركة صعبة. أما أسفل وسط الحلزون فتنتقل موجات عضلية وتتحرك من الخلف إلى الأمام، وتعمل كل موجة على تشكيل قوة دفع كبيرة على المخاط تفرض عليه الانتقال بسرعة كبيرة. وتقوم المادة المخاطية هنا بعملية «تخفيف القوام بالقص» كما يحدث للكتشب بالضبط، فإذا دفعناه بسرعة مفاجئة سيتدفق بسهولة جدًا. إن الحلزون في الحقيقة أشبه بمن يمارس الإبحار فوق هذا المخاط السائل وعلى تلك الموجات العضلية ومستغلًا المقاومة الأقل، وهو يحتاج كذلك إلى مادة غروية كثيفة لكي يتوفر له شيء ليدفع باتجاهه. والسبب الوحيد الذي يمكّن الحلزونات (وديدان البزاق) من الحركة هو أن ذلك المخاط تتحول هيئته من صلب أحيانًا إلى سائل

أحيانًا أخرى، وبالعكس اعتمادًا على مدى السرعة التي يفرضها لتحريكها. أما المزية الكبرى لهذا الأسلوب فتتجلى بعدم سقوطها من جوانب الأشياء؛ لأنها لا ترفع نفسها بعيدًا عن السطح.

كيف لهذه المادة الغروية أن تُحكِم أداء هذه الخدعة؟ إنها مادة هلامية (جِل) مكونة من جزيئات طويلة جدًا ومختلطة ببعضها، يُطلق عليها علميًا (جليكوبروتينات). وعندما تكون بلا حركة تتشكل روابط كيميائية بين السلاسل فتتصرف بذلك كمادة صلبة، لكن عند دفعها بقوة كافية تنفصم فجأة عُرَى الروابط فتنزلق الجزيئات الطويلة على بعضها كخيوط معكرونة السباغيتي. أما إذا أعدناها إلى سكونها من جديد فستعيد الروابط تشكيل نفسها، وسنرى بعد ثانية واحدة فقط المادة الهلامية مرة أخرى.

لو علمتُ بكل ذلك مسبقًا، فهل كان بمقدوري حماية الشتلات؟ لن يحدث ذلك باختيار سطح يمكنها الالتصاق به أو تسلقه كما تبين ذلك. يمكن للمخاط الالتصاق بأي شيء نجده بأرجاء المنزل، بما فيها بطانات المقالي المانعة للالتصاق. وبرهنت التجارب على أن الحلزونات قادرة على ما هو أبعد من ذلك بالتصاقها بالأسطح فائقة الرفض للماء التي لا يكاد الماء يلمسها. إنه إنجاز مذهل للغاية، لكن على الأرجح لن يثمنه تثمينًا عاليًا سوى أولئك الذين ليس بحوزتهم شتلات يحمونها.

تفسّر هذه الآلية طبيعة الأصباغ غير المُسالة أيضًا، فعندما يستقر الصبغ بلا حراك فإنه يتسم بالثخونة واللزوجة، لكن عندما نضغط عليه بفرشاة تصبح لزوجته أقل بكثير ويصبح من السهل نشر طبقة نحيفة منه على الجدار، وفور أن نبعد الفرشاة عن الجدار يعود الصبغ لحالته السابقة من اللزوجة الشديدة، فلا ينساب على الجدار قبل أن يجف.

***

كُلٌّ من الكتشب والحلزونات بحجم صغير، لكن يمكن أن تسبب هذه الجزئية نفسها من الفيزياء عواقب وخيمة على نطاق أكبر. كانت كرايست شيرتش مدينة نيوزلندية خلابة وهادئة عندما زرتها سنة ٢٠٠٢. تتكون تلك الأرض من مادة مترسّبة، وهي طبقة إثر طبقة من الجزيئات الصغيرة راكمها نهر آفون على مدى آلاف السنين المتعاقبة. الموقع جميل، غير أن المدينة كانت فوق قنبلة موقوتة، ففي الساعة ١٢:٥١ من يوم الثاني والعشرين من فبراير/شباط ٢٠١١ وقع زلزال

ضخم بلغت قوته ٦,٣ على بعد ٦ أميال فقط من مركز المدينة. وكان الزلزال من السوء بحيث قذف بالناس في الهواء وحطّم الأبنية ودمرها، لكن الراسب الذي بُنيت عليه المدينة لم يكن قويًا وصلبًا إلا في حال ثباته. وعلى غرار الكتشب؛ أدّت الهزة القوية إلى تحويله إلى سائل. تختلف التفاصيل قليلًا على النطاق الصغير، فبدلًا من تفكك روابط سلاسل الجزيئات الطويلة، ما يحدث هنا هو أن الماء يتسرب فيما بين حبات الرمل ويدفعها لتتفكك مما يؤدي إلى تدفقها كالسائل. بيد أن الفيزياء الإجمالية متشابهة في الحالتين؛ عند تهييج الأرض الصلبة وهزها بسرعة، فإنها تبدأ بالتدفق كالسوائل.

إن السيارة جسم ثقيل، فالجاذبية تسحبها بقوة نحو الأسفل على الأرض التي تستقر عليها، والسيارات لا تغرق في الأرض لأن لها من الصلابة ما يكفي لجعلها تقاوم ذلك الدفع، لكن تعطلت هذه القاعدة العامة في ذلك اليوم بمدينة كرايست شيرتش، ففي ذلك اليوم كان هناك كثير من السيارات المتوقفة على جوانب الطريق الرملية، وكانت معتمدة على التراب المتراكم الذي لم يتحرك منذ عقود. ومع هز الزلزال للأرض، أُجبرت طبقات الرمال على الانزلاق على بعضها، ومن جانب على الجانب الآخر بسرعة فائقة. لو حدث هذا ببطء لأمكن تأمين السيارات، لكنه وقع بسرعة شديدة بحيث إن الماء زحف فيما بين الرمال التي لم يتوفر لها وقت للعودة إلى مكانها قبل أن تُجبر على التحرك لاتجاه مختلف. وهكذا بدلًا من أن يتراكم الرمل على الرمل أصبحت الأرض تتكون فجأة من خليط من الرمل والماء ليس فيه تكوين ثابت. ستغرق نحو الأسفل أية سيارة توجد فوق هذا الخليط وستتحول إلى عصيدة مع تتابع الهزة. لكن فور أن تتوقف الهزة فلا يستغرق الرمل سوى ثانية أو نحوها للاستقرار بالتدريج، إذ يدعمه طبقات رمل أخرى بدلًا من الماء، وتعود الأرض إلى صلابتها، لكن بحلول هذا الوقت أمست السيارات نصف مدفونة.

أوقعت هذه العملية أضرارًا بالغة في مدينة كرايست شيرتش، فقد غرقت السيارات في الطمي وتساقطت البنايات لأن الأرض لم تعد قادرة على حملها. تُعرف هذه الظاهرة باسم «الإسالة» ، وبقوة كافية مثل قوة الزلزال، تتحرك الرواسب بسرعة كافية لتسبب ظاهرة الإسالة، لكننا إذا حركنا الأرض الرملية الناعمة بسرعة كافية فستختفي ظاهرة الإسالة، وهذا يفسر أيضًا أن الحركة المتأرجحة في الرمال المتحركة فكرة سيئة جدًا، فإن قاوم فيها المرء فستصبح

الرمال أشبه بالسائل وسيغرق فيها، لذا فإنه كلما تحرك ببطء سنحت له فرصة للسيطرة على مكانه. عامل الزمن مهم هنا للغاية، فعندما نغيّر الإطار الزمني بما نفعل فإننا نعمل غالبًا على تغيير المحصلة والنتيجة.

نحب أن نصف الشيء عندما يحدث بسرعة شديدة أنه حدث «بطرفة عين»، تستغرق طرفة العين نحو ثُلث ثانية، ومتوسط وقت ردة فعل الإنسان تقرب من رُبع ثانية، يبدو لنا هذا الوقت سريعًا للغاية، لكن عليكم أن تفكروا بالذي يحدث في أثناء هذا الوقت إذا أخذتم اختبار ردة فعل قياسي. عندما يصل شعاع ضوء إلى شبكية العين تلتف جزيئات استشعار متخصصة، مما يعطي إشارة البدء لسلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تُحدِث تيارًا كهربائيًا صغيرًا، تنتقل هذه الإشارة عبر العصب البصري إلى الدماغ محفزةً الخلايا الدماغية لإرسال الإشارات إلى بعضها، حيث تستنبط أنه شيء ما يتطلب التفاعل، ثم تنتقل الإشارات الكهربائية إلى العضلات، وتصبح بطيئة عندما يعمل الانتشار الكيميائي على نقلها عبر الفجوات الموجودة بين الخلايا العصبية، وحين يحدث استلام أمر النقل ترفع الجزيئات في النسيج العضلي بعضها إلى أن يصل الإحساس إلى اليد. كل ذلك يحدث فقط لكي نفعل أسرع حركة يمكننا فعلها.

تأتي التعقيدات الرائعة الكامنة فينا على حساب السرعة. أرى البشر كمخلوقات جدّ بطيئة تتحرك بتثاقل في العالم الفيزيائي، بسبب المراحل المختلفة الضرورية لكل حركة نقوم بها. فبينما نكدح عبر كل ذلك تمضي أنظمة فيزيائية أبسط في عملها، وهي أعمال كثيرة، لكن تلك العمليات السريعة والبسيطة أسرع من أن نراها. يمكن الحصول على لمحة من هذا العالم إذا أسقطنا قطرة واحدة من الحليب في قهوتنا من مسافة عالية، حيث سنرى القطرة تقفز خارجة من الحليب قبل أن تسقط فيه مرة أخرى، هذا ما يمكننا رؤيته من الحركة الأسرع للأجسام. كان المشرف على رسالة الدكتوراه الخاصة بي يقول لو كنتِ سريعة لغيرتِ رأيك حول قطرة الحليب والتقطتيها قبل اختفائها السريع، لكنني متأكد أنك ستحتاجين إلى معونة شيء أصغر وأسرع مما يستطيع الإنسان فعله.

إن فكرة مدى ما نفتقده بسبب بطئنا هو ما حفزني لاختيار موضوع رسالة الدكتوراه، فقد أسرتني فكرة عالم الأجسام الأصغر والأسرع من رؤية العين، ذلك العالم الذي يقوم بالأشياء مباشرة أمام عينيّ، فاخترت رسالة دكتوراه تسمح لي باللعب بالتصوير عالي السرعة، وهي تقنية مَكّنتني من رؤية أجزاء من عالم غير

مرئي بطبيعته؛ لأنها تتحرك بسرعة قصوى، لكن مثل هذه الكاميرات متوفرة فقط للبشر. ماذا ستفعل إن واجهتك المشكلة ذاتها ولكنك حمامة؟!

أقنع عالم جريء يدعى باري فروست في سنة ١٩٧٧ حمامة بالمشي على دواسة مشي متحركة، لعلها من التجارب التي قد تفوز بأيامنا هذه بجائزة إيغ نوبل كنموذج ممتاز على العلم الذي يجعلك تضحك ثم تفكر. على أثر تحرك حزام الدوّاسة ببطء نحو الخلف يتحتم على الحمامة التحرك نحو الأمام لكي تبقى في مكانها، وبدا بوضوح أنها أتقنت التحرك معها بسرعة، لكن ثمة شيء مفقود مع كدحها المتواصل مع الدوّاسة. لو جلستَ يومًا في ميدان مدينة عام وشاهدت الحمام يمشي مختالًا للبحث عن الطعام فستلاحظ أن رؤوسها تتمايل للوراء والأمام وهي تمشي، ولطالما تصورت أن عمل هذه الحركات يبدو غير مريح، ومن الغريب تكريس كل الجهد على ذلك، غير أن الحمامة على الدوّاسة لم تتمايل برأسها، مما نبّه باري لشيء مهم للغاية حول التمايل، إذ يتضح أن الحمامة لم تكن بحاجة لفعل ذلك لكي تمشي، وبالتالي لا علاقة لذلك بفيزياء الحركة، فتمايل الرأس له علاقة بما يمكن أن تراه. ومع أن الحمامة تمشي على الدواسة إلا أن ما يحيط بها يظل في مكانه، ولو ثبتت الحمامة رأسها في مكانه لرأت المنظر ذاته طوال الوقت، مما يسهّل ويلطف من رؤية محيطها، لكن عندما تسير الحمامة على الأرض تتغير المناظر باستمرار مع مضيها في كل مكان، وقد ظهر جليًا أن هذه الطيور لا تستطيع الرؤية «بسرعة» كافية لمواكبة تغيّر المناظر، ولذلك فهي في الحقيقة لا تميل إطلاقًا برأسها للأمام أو للخلف، بل تقوم بحركة دفع لرأسها نحو الأمام، ثم تأخذ خطوة تمكن جسمها من المواكبة، ومن ثم تقوم بحركة دفع لرأسها نحو الأمام مرة أخرى، يبقى الرأس في موقعه ولا يتغير خلال الخطوة، وبذلك تتمكن الحمامة من كسب وقت إضافي لتحليل هذا المنظر قبل التحرك نحو الخطوة الآتية. يأخذ الحمام لقطة واحدة لما يحيط به ثم يهز رأسه إلى الأمام لأخذ اللقطة التالية. لو قضى أحدنا برهة وهو يتابع حمامة فسيقتنع نفسه بذلك (على الرغم من أن ذلك يتطلب شيئًا من الصبر، لأن حركة هز رأسها عادةً سريعة جدًا). لا أحد يعلم على وجه الدقة لماذا تتسم بعض الطيور بالبطء الشديد بجمع المعلومات المرئية التي تحتاجها لإمالة رؤوسها، وبعضها الآخر ليس كذلك، لكن الطيور البطيئة لا تستطيع مواكبة عالمها من دون تقسيمه إلى لقطات تصوير متتالية وثابتة.

تواكب أعيننا سرعة خطواتنا عندما نمشي، لكن إذا تطلب منا الأمر التدقيق بشيء عن قرب ونحن نمشي أو نجري فعادة ما يهيمن علينا شعور قوي يحثنا على التوقف للحظة لإمعان النظر جيدًا، فأعيننا غير قادرة على جمع المعلومات بسرعة تكفي للحصول على كل التفاصيل ونحن نمشي. يسير البشر في الحقيقة على المنحى ذاته الذي يسير عليه الحمام (باستثناء حركة تمايل الرأس)، وتنهمك أدمغتنا بتجميع المعطيات التي تصلها وتربطها لتكوين نتائج حسية ولا ندرك ذلك، تتحرك أعيننا حركات سريعة من مكان إلى آخر لتضيف معلومات إلى تصورنا الذهني مع كل وقفة. لو نظر أحدنا إلى نفسه في المرآة ونظر مباشرة إلى انعكاس صورة إحدى عينيه ثم الأخرى؛ سيلاحظ أنه لا يرى عينيه تتحركان مع أن أي شخص يقف بجواره سيراهما وهما ترمشان من جهة إلى الأخرى. لقد جمعت أدمغتنا معطيات إدراكنا الحسي لأي مشهد وربطتها معًا بطريقة لا نشعر بها بوجود قفزات؛ لكن هذه القفزات تحدث طول الوقت.

الفكرة هنا أننا أسرع بمقدار ضئيل فقط من الحمامة، مما يسلط الضوء على مدى الكمية الواجب توفرها لتكون أسرع منّا. إننا معتادون في الحياة على نطاق محدود من المقاييس الزمنية، فبمقدورنا أن نتابع الأشياء التي تستغرق فتراتها الزمنية بدءًا من ثانية تقريبًا وحتى بضع سنوات، لكن هذا ليس كل شيء. لا نستطيع من غير وجود العلم رؤية أي شيء يجري في كسور من الثانية أو في آلاف السنين، كل ما بمقدورنا إبصاره هو تلك الأجزاء الواقعة بينهما، ولهذا السبب تستطيع أجهزة الحاسوب إجراء عمليات كثيرة، وهذا ما يجعلها غامضة نوعًا ما أمامنا، فهي تؤدي عملياتها الحاسوبية في مقدار ضئيل من الزمن، وتستطيع إجراء مهمات شديدة التعقيد وإنهاءَها قبل أن ندرك مرور أي وقت. وما برحت أجهزة الحاسوب تزداد سرعتها لكننا لا نستطيع إدراك العلة والسبب، لأن جزءًا من المليون وجزءًا من المليار سِيّان بالنسبة إلينا؛ فكلاهما من السرعة الشديدة بحيث لا نستطيع ملاحظتهما، لكن لا يعني هذا أن التمييز بينهما غير مهم.

يعتمد ما نراه على المقياس الزمني الذي نبصر فيه الأشياء. ولكي نلمّ بهذا التفاوت إلمامًا تامًا فدعونا نقارن السريع بالثقيل؛ لنقارن بين قطرة مطر وجبل.

تستغرق قطرة مطر كبيرة ثانية واحدة لتسقط من مسافة ٦ أمتار، ألا وهو ارتفاع بناية من طابقين. فماذا يحدث خلال تلك الثانية؟ تتكون هذه القطرة المطرية من عنقود متزاحم من جزيئات الماء، تتشبث كل واحدة منها بقبضة المجموعة بإحكام،

لكنها تغير باستمرار من ولاءاتها ضمن تلك المجموعة. يتكون جزيء الماء، كما رأينا في الفصل السابق، من ذرة أكسجين ترافقها بين جنبيها ذَرّتا هيدروجين، ويأتي هذا الثلاثي على شكل V. ويمكن للجزيء أن ينثني ويتمدد مع تقافزه عبر هذه الشبكة المرتخية التي شكلتها مليارات الجزيئات المتطابقة الأخرى، وخلال تلك الثانية قد يتقافز هذا الجزيء ٢٠٠ مليار مرة، وإذا وصل إلى حافة تجمع الجزيئات فسيجد أنه ما من شيء خارج القطرة قادر على مجاراة الجذب الشديد لتلك التكتلات، وبالتالي دائمًا ما يُعاد سحب الجزيء إلى مركزه. إن الشكل الذي تعرضه الرسوم الكرتونية لقطرة المطر خيالي، فلقطرات المطر أشكال كثيرة لا يوجد من بينها شكل مدبب حاد أو طرف مستدق، فأية أطراف مستدقة ستُسوّى وتمهّد بسرعة بسبب عدم قدرة الجزيئات المنفردة على مقاومة سحب حشد الجزيئات، لكن بغض النظر عن قوة ذلك السحب لا يصل الجزيء أبدًا للشكل المثالي، فثمة إعادة ضبط مستمرة استجابةً للهزات القادمة من الهواء. قد تنضغط القطرة لتصبح مسطحة لكنها بعد ذلك ستسحب شتاتها، ثم تتجاوز مكانها، فتصبح ممددة على شكل كرة القدم المعروفة بـ رجبي (rugby)، وأخيرًا تعود لعمل هذه الدورة ١٧٠ مرة خلال هذه الثانية. تأخذ هذه الكرية بالتذبذب وإعادة تكوين نفسها باستمرار وتمسي أرضًا لمعركة تندلع بين القوى الخارجية التي تعمل على تمزيقها إربًا، وبين قوة الجذب الشرسة لحشد الجزيئات التي تبقيها متماسكة. تصبح قطرة المطر أحيانًا مسطّحة على شكل فطيرة محلاة، ثم تتمدد لتأخذ شكل مظلة شمسية نحيفة، ومن ثم تنفجر إلى جيش من القطيرات الضئيلة. يحدث كل هذا وذاك خلال أقل من ثانية، ولا نستطيع رؤية أيٍّ منها، غير أن تلك القطرة قد غيّرت شكلها مليار مرة خلال طرفة عين، ثم تسقط القطرة على ظهر صخرة فيحدث تحوّل في الأطر الزمنية.

هذه صخرة من الغرانيت، ولم تتحرك أو تتغير في الذاكرة البشرية، لكن ثار منذ أربعة ملايين سنة بركان عملاق في الشطر الجنوبي من الكرة الأرضية، وانحشرت الحمم البركانية المنصهرة في ثنايا فجوات الصخرة البركانية، ثم بردت على مدار آلاف السنين وانفصلت ببطء لتصبح بلورات من أصناف مختلفة، ولتتحول إلى غرانيت صلب لا يلين. ومع مضي مزيد من الزمن، وفي العصور الجليدية، كانت الصخرة هائلة الحجم، وقسمتها النباتات والثلوج إلى شظايا، وأخيرًا صقلها المطر. وبينما يخمد البركان، لا تكف الصخرة عن التنقل كذلك.

ومنذ ذلك الانفجار الضخم الذي أنهاها، ما انفكت هذه القطعة من القارة تزحف شمالًا، وعلى قمتها جاءت وذهبت أنواع الكائنات والحقب الجيولوجية كآلية يقوم بها الكوكب لجمع ما يجري على السطح وتفريقه. أما في الوقت الراهن، وبعد انقضاء عُشر العمر الإجمالي لكوكبنا، فكل ما تبقى من أصل ذلك البركان المتفاقم هو تلك البقايا الحزينة من جوفه المكشوف، نطلق عليه اسم «بن نيفيس»؛ وهو أعلى الجبال في الجزر البريطانية.

عندما ننظر إلى الجبل أو قطرة المطر نلحظ تغيرًا طفيفًا فقط، لكن ذلك يُرَدّ إلى إدراكنا الحسي للزمن، لا إلى ما ننظر إليه.

إننا نعيش في وسط مقاييس زمنية، ويصعب أحيانًا أن نتعامل بجدية مع بقية مقاييس الزمن. ليس الأمر في مجرد الاختلاف بين ما هو الآن وما هو لاحقًا، بل بالدوار الذي يصيبنا عندما نفكر بما هو «الآن» على وجه الحقيقة. فربما يكون مقداره جزءًا من المليون من الثانية أو سنة. سيختلف إدراكنا الحسي عندما ننظر إلى الأحداث التي تجري بسرعة مذهلة أو تلك التي تزحف ببطء السلحفاة، بيد أنه لا علاقة للاختلاف البتة بكيفية تغيّر الأشياء؛ بل تتلخص المسألة بالمدة التي تصل فيها إلى وجهتها هناك، والسؤال: ما هو الـ«هناك»؟ إنه الاتزان، أي حالة التوازن. إذا تركنا الأشياء على حالها فلن تنتقل من هذا الموضع الأخير لأنه ما من سبب يدفعها لذلك. وفي نهاية المطاف، لا توجد قوى لتحريك أي شيء في هذه الحالة لأنها جميعًا متوازنة. إن العالم الفيزيائي بأسره ليس له سوى وجهة واحدة؛ الاتزان فحسب.

فلنتصور بوابة هويس في قناة مائية، اخترعت الأهوسة لأكثر الأسباب ابتكارًا؛ السماح للقوارب على القناة بالعبور إلى الأماكن المرتفعة. وتعمل بسبب قدرة القوارب على دفع نفسها قدمًا ضد التدفق المائي، لكن ذلك في حالة واحد فقط، وهي كَوْنِ التدفق المائي بطيئًا جدًا. ليس بمقدور أي قارب قناة التحرك ضد مسقط مائي، لكن يستطيع القارب بمعونة الهويس أن يصعد المكان المرتفع. يتكوّن الهويس من مجموعتين من البوابات التي تشكل ممرات ضيقة كاملة في القناة، وتحصر حوضًا مائيًا منعزلًا بينهما. يكون الماء في أحد جانبي الهويس مرتفعًا وفي الجانب الآخر يكون منخفضًا، ولا بد أن تمر أية مركبة تريد الصعود أو الهبوط من الهويس. فلنفترض أن ثمة قاربًا ينتظر في الجزء السفلي، سيظل منسوب الماء بين البوابتين في البداية مساويًا لارتفاع القناة في الأسفل. تنفتح

البوابات السفلية ويتحرك قاربنا داخل الهويس فتنغلق البوابات السفلية، تصبح الآن البوابة العلوية مفتوحة جزئيًا فيتدفق الماء داخل الهويس، وهنا الجزء المهم من المسألة، فعندما كانت البوابات العلوية مغلقة لم يكن ثمة سبب لتحرك الماء فوق الهويس نحو أي مكان، إذ استقر في أخفض مكان ممكن، أي في حالة الاتزان، إذ ليس هناك مكان أفضل ليستقرّ فيه وسيبقى ثابتًا في مكانه هناك إلى ما لا نهاية. لكن حين تُفتح الفجوة سيسمح هذا بربطها مع حوض الماء بين البوابتين، أي أن هناك حالة تغيير حدثت. يظهر فجأةً مسار طريق لمكان أفضل، فتسحب الجاذبية الماء دائمًا نحو الأسفل، وقد فتحنا الباب للتو للماء للاستجابة إلى سحب الجاذبية وتحريك نفسه إلى الأسفل أكثر، فيتدفق ليصحب القارب ويستمر بملْءِ الهويس إلى أن يصبح ارتفاع الماء في داخله مماثلًا لارتفاعه فوق الهويس. لا يتعين على أحد القيام بشيء سوى منح المسار اتزانًا جديدًا، لكن أصبح القارب الآن في ارتفاع مماثل للجانب العلوي من القناة، وفور أن تنفتح البوابات تمامًا يستطيع التحرك ليشق طريقه ضد التيار وعلى عكس تدفق القناة البطيء جدًا. وحين تنغلق البوابات مرة أخرى خلف القارب يصبح كل شيء في حالة اتزان؛ سيبقى الماء بين الهويسين في مكانه هناك إلى ما لا نهاية لأنه ليس له مكان أفضل من المكان الذي هو فيه، تكون حينها جميع القوى متوازنة، ثم في مرحلة معينة يدخل قارب الهويس من أعلى مسار التيار ويفتح أحدهم البوابة السفلية فيُسمح للماء بالتدفق داخل اتجاه مسار تيار القناة حيث سيتابع طريقه لاتزان جديد.

أما الدرس الذي نستفيده من كل ذلك أنه يمكن إنجاز ما هو كثير في العالم من خلال التحكم بالمكان الذي يوجد فيه موقع الاتزان؛ فإذا تركنا الأشياء على حالها فستدور على نفسها إلى أن يتوازن كل شيء، ومن ثم تبقى في مكانها. وأسلوب إنجاز الأشياء إنما يتمثل بالتحكم بمكان اتزانها، فإذا غيرنا قواعد اللعبة حسب طلبنا فيمكننا التأكد من تدفق الأجسام في الاتجاه الذي نريدها أن تتدفق فيه، وعندما نأمر بذلك فقط.

فكرة أن العالم الفيزيائي يتحرك دائمًا باتجاه الاتزان – أي أن السوائل الساخنة والباردة تمتزج إلى أن تصبح كلها بدرجة حرارة متساوية، أو أن البالون يتمدد ويتوسع إلى أن يتساوى الضغط من الداخل والخارج – إنما ترتبط بالمفهوم الذي يشير إلى أن الزمن يتدفق باتجاه واحد فقط. لا يمكن للعالم أن يسير نحو الخلف، ولن يتدفق الماء أبدًا من تلقاء نفسه عبر الهويس من المستوى المنخفض إلى

المستوى الأعلى، ما يعني أن بمقدورنا تمييز الطريق نحو الأمام من خلال البحث عن أنظمة تتحرك نحو الاتزان. على أن تحريك الأجسام بالقوة الغاشمة سيكلفنا قدرًا كبيرًا من الطاقة، أما إعمال التأثير في سرعة الوصول للاتزان سيقلل من التكلفة في أغلب الأحيان، وله كذلك فوائد جمة.

يُعد سد هوفر من أكبر الإنجازات الهندسية في القرن المنصرم، وعندما نقود سياراتنا نحوه قادمين من لاس فيغاس، سنمر من طرق متعرجة على أرض صخرية حمراء اللون، حيث يبدو من المستحيل إخفاء أي شيء ضخم. وما من إشارات لاحتمال وجود شيء غير اعتيادي قريب سوى تلك اللَّقَطات التي تأتي من لمحات عَرَضية لماء أزرق لامع لا يتخيّل المرء وجوده إطلاقًا في وسط الصحراء، لكننا عندما ننعطف لزاوية معينة نراه ماثلًا أمامنا، ٧,٥ مليون طن من الماء؛ سد مائي عملاق يسكن في وسط هذه الأرض الأمريكية الوعرة.

قبل مئة عام جرى نهر كولورادو بلا قيود عبر واديه الضيق. وكانت الأمطار المتجمعة من أعلى جبال روكي والسهول الشاسعة شرقًا تمر هابطةً من المرتفع عبر سلسلة من الوديان لتجري خارجةً إلى خليج كاليفورنيا، والمشكلة التي واجهها الفلاحون وقاطنو المدينة في وصول التيار لم تكن في كمية المياه الذي توفر منه ما يكفي، بل في توقيت وصول تلك المياه. في فصل الربيع تجرف الفيضانات الكبرى الحقول الزراعية، لكن مع حلول الخريف لا يتبقى منه سوى قدر ضئيل لا يكفي لتعداد سكانيّ متنامٍ، ودائمًا ما كان الماء يبدأ من الجبال والسهول ذاتها لينتهي بالموقع نفسه من المحيط، وما احتاجه الفلاحون وأهل المدينة للضرورة على حد سواء هو التحكم بتوقيت وصوله إلى هناك ، ووقف حركته مرة واحدة، وهكذا بُني السد.

ستجد قطرة الماء التي شقت طريقها من جبال روكي نزولًا عبر الوادي الكبير نفسها في بحيرة ميد، وهو الخزان المائي الضخم الذي بُني خلف السد، إذ ليس لها مكان آخر لتتسرب إليه، لفترة معينة على الأقل. المسألة الجوهرية هنا هي أن القطرة محجوزة حيث هي في الأعلى، لأنها لا يمكن أن تنزل إلى ما دون ذلك. كانت القطرة التي تغادر الوادي الكبير في أثناء سنة ١٩٣٠ تتحرك نحو الأسفل لمسافة ١٥٠ متر قبل أن تستقر في مكانها، أما عندما انتهى بناء السد عقب سنة ١٩٣٥ فيمكن للقطرة ذاتها أن تصل إلى النقطة نفسها ولكنها تستقر على مسافة ١٥٠ متر فوق قاع الوادي. أما المدهش في هذا الأمر أنه ليس ثمة حاجة لأية

طاقة للاحتفاظ بها هناك، بل عائق مُحكَم فقط لمنعها من الجريان لأي مكان آخر. لقد وُجدت واستقرت هنا في هذا المكان بسبب الاتزان الذي صنعه الإنسان.

إلى أن يقرر البشر بطبيعة الحال تصريفها لمكان آخر، يستطيعون التحكم بالتدفق القادم للسد، وتقنين توزيع الماء الذي يغذي بقية نهر كولورادو، فلم تعد تحدث فيضانات في مجرى التيار، على الرغم من أن النهر لا يكف عن التدفق كليًا، وليس هذا فحسب، بل هناك فائدة أخرى؛ فمع جريان الماء وتدفقه على السد يعمل الضغط الهائل والمتراكم على تشغيل محركات توربينية تنتج طاقة كهربائية، وتظهر آثار النتائج المترتبة على هذه التحويلات المائية في حياة مئات الآلاف من الناس الذين أصبح بمقدورهم ممارسة حياتهم وعملهم في الصحاري القاحلة في الجنوب الغربي الأمريكي.

لقد بُني سد هوفر من أجل التحكم بتوقيت تدفق الماء، غير أن المبدأ الذي يوضح التحكم في التوقيت يتجاوز ذلك إلى ما هو أبعد من مسألة استخدامه في تدفق الماء، فعندما يتعلق الموضوع بالحصول على الطاقة فكل ما نفعله في حقيقة الأمر هو وضع عقبات عدة في طريق الطاقة المتجهة فعلًا من مكان معين إلى مكان آخر. يعمل العالم الفيزيائي دائمًا على التوجه نحو الاتزان، لكن بمقدورنا أحيانًا التحكم بالمكان الذي يقع فيه الاتزان الأقرب، ومدى سرعة وصول جسم ما في العالم إليه. فمن خلال التحكم بذلك التدفق فإننا نتحكم كذلك بتوقيت إطلاق الطاقة، ثم نحرص على أن يسدي لنا تدفق الطاقة إنجازًا مفيدًا ومثمرًا إثر مروره على عوائقنا الاصطناعية بطريقه نحو تحقيق الاتزان. إننا لا ننتج الطاقة ولا ندمرها، بل نقوم بتغيير قواعد اللعبة ونعمل على تحويل مجراها.

نواجه مشكلة الموارد المحدودة مثلما واجهتها حضارات عديدة قبلنا. يتكون الوقود الأحفوري من نباتات صنعت نفسها باستخدام الطاقة الصادرة من الشمس، ومحوّلة تلك الطاقة من الحرارة الناعمة إلى طاقة مفيدة ومكافئة للطاقة في قاع النهر. الوقود الأحفوري هو مكافئ للطاقة خلف السدود، وهي شكل من أشكال تخزين الطاقة في حالة اتزان مؤقت، فعندما نستخرج الوقود الأحفوري بالحفر ونستفيد منه باختيار توقيت تحرير الطاقة من خلال توفير مسار للطاقة من حالة اتزان لحالة اتزان أخرى، عبر لهب وانحلال كيميائي يَتَمخّضُ عنه ثاني أكسيد الكربون وماء. وتتجلى المشكلة التي نواجهها في أنه لا يوجد سوى عدد محدود من الموارد «المضادة للتيار» على شكل وقودات أحفورية، في حين أطلقنا في غضون بضع

مراحل زمانية من حياة البشر طاقةً استغرق تراكمها ملايين السنين. تُفرّغ خزانات الوقود الأحفوري، ولن يُعاد مَلْؤُها لملايين من السنين. وتعمل الطاقات المتجددة، مثل الطاقة المائية من سد هوفر وغيره، على تحويل مجرى شلال الطاقة الشمسية المتدفقة على عالمنا حاليًا، ويظل التحدي الذي تواجهه حضارتنا على حاله ماثلًا: كيف لنا أن نمنع تدفق الطاقة وكذلك أن نبدأ بها بكفاءة عالية فنتمكن بذلك من فعل ما نشاء من دون تغيير عالمنا كثيرًا؟

عندما تشغّلون أجهزة تأخذ طاقتها من البطاريات فتذكروا أنكم تختارون وقت إطلاق الطاقة من البطارية من خلال فتح بوابة كهربائية وتوجيه الطاقة عبر دوائر الجهاز لمساعدتكم بعمل شيء مفيد. سينتهي بها المطاف بعد ذلك كحرارة، وهو ما كانت ستقوم به على أية حال. هذا هو الدور المناط بجميع المفاتيح والأزرار الإلكترونية في عالمنا المعاصر، فهي تؤدي دور حراس البوابات المتحكمين بتوقيت التدفق الذي لا يتجه سوى إلى طريق واحد لا ثاني له؛ يتجه نحو الاتزان. إذا سمحنا للتدفق بالاندفاع دفعة واحدة سنحصل على نتيجة واحدة؛ أما إذا أبطأناه، وعرقلناه حسب الأوقات التي تناسبنا، فسنحصل على نتيجة مختلفة كليًا. الزمن يمثل أهمية بالغة هنا لأنه لا يسير إلا باتجاه وحيد؛ من خلال اختيار وقت حدوث الاتزان وسرعة ذلك التدفق، فإننا نمنح أنفسنا قدرة تحكم هائلة بالعالم، لكن حالة وصول الأجسام إلى الاتزان ومن ثم التوقف ليست دائمة، فإذا كانت منطلقة بسرعة كبيرة مع اقترابها من نقطة التوازن، فهي قد تواصل انطلاقها بلا توقف. يفتح هذا الأمر مجموعة جديدة كاملة من المظاهر التي تتضمن بعضًا من المشكلات.

يحتل وقت استراحة الشاي في الظهيرة جزءًا أساسيًا من يوم عملي، غير أنني لاحظت مؤخرًا أن حتى الحصول على كوب كبير من الشاي يجبرني على إبطاء سرعتي، ولا يتعلق الأمر بالوقت الذي يستغرقه تسخين الغلاية فقط. يقع مكتبي بكلية لندن الجامعية في طرف رواق طويل، أما غرفة تحضير الشاي فتوجد في الطرف الآخر منه، وتسيرُ رحلة عودتي إلى مكتبي، وبيدي هذا الكوب الكبير المملوء بالشاي، بأبطأ خطوات يومي كله؛ إذ تتراوح سرعة مشيي الطبيعية في العمل بين «الحركة الخفيفة» و«خطوات السير السريعة»، ولا يتعلق هذا الأمر بوجود شاي كثير في الكوب؛ بل المشكلة في احتمال انسكابه، فكل خطوة تزيد من سوء الوضع، وأي شخص منطقي سيقبل أن تقليل السرعة هو الحل المعقول، لكن أي فيزيائي سيُجري بعضًا من التجارب أولًا فقط ليتأكد ما إذا كان هذا هو

الحل الوحيد، لن يعرف المرء على وجه اليقين ما الذي قد يكتشفه، ولستُ من الناس الذي يرضخون لما هو واضح من دون كفاح.

لو صببنا ماءً داخل كوب كبير ووضعناه على سطح مستوٍ ودفعناه دفعة بسيطة، سيأخذ الماء بالتحرك من جانب إلى آخر. ما يحدث هنا أنه مع دفعنا للكوب سيتحرك، لكن الماء في البداية يظل خلفه بلا مواكبة، مما يؤدي إلى تراكمه على جانب الكوب الذي دفعناه، ثم سينتج لدينا كوب؛ منسوب الماء فيه من جهة أعلى من الأخرى، فتعمل الجاذبية على سحب الماء الأعلى نحو الأسفل في حين يُدفع على الجهة الأخرى نحو الأعلى. يصبح السطحُ للحظة مستويًا مرة أخرى، لكن ما من سبب يوقف الماء عن الحركة، بل يواصل الارتفاع من الجهة الأخرى. وتشده الجاذبية مع ارتفاعه، لكن يستغرق إيقاف الماء تمامًا بعض الوقت. ومع حلول وقت توقفه يصبح مستواه على الجهة الثانية أعلى من الأولى، ومن ثم تتكرر كل هذه الدورة مرة أخرى. إذا وُضع هذا الكوب الكبير على سطحٍ متساوٍ فإن الحركة من جهة إلى أخرى ستهدأ تدريجيًا، وستحدث حالة الوصول إلى الاتزان. لكن إذا كنا نسير فستختلف الأمور.

تكمن المشكلة في الدورة السابقة الذكر، إذا أجرينا اختبار دفع لأكواب بأحجام مختلفة فسنلاحظ أن حركة الشاي في داخلها كلّها يحدث بالطريقة ذاتها، لكنه يحدث أسرع في الكوب الضيق، وببطء أكبر في الكوب العريض. تستمر حركة الشاي الدورانية في الكوب الذي معظمه مملوء بعدد المرات نفسه في كل ثانية مهما كان كبر الدفعة الأولى، لكن يعتمد هذا العدد على الكوب نفسه، وأكثر ما يهمّ هو نصف قطر الكوب.

ثمة تصارع بين قوة الجاذبية المتجهة للأسفل التي تسحب كل الأجسام وتعيدها لحالة الاتزان، وبين زخم الجسم المائع الذي يتعاظم عند لحظة مروره من مركز الاتزان. يوجد الجسم المائع بكمية أكبر في الكوب الكبير، وتتوفر له مساحة أكبر للحركة، ولذا فإن الدورة تستغرق وقتًا أطول لتعود إلى نقطتها التي بدأت منها. ويعرف التردد الخاص لكل كوب كبير بالتردد الطبيعي، وهو المعدل الذي ستتحرك فيه الدورة بين جوانب الكوب إذا دُفع ثم تُرك ليعود إلى حالة الاتزان من تلقاء نفسه.

أمضيتُ برهة من الزمن وأنا ألعب بالأكواب في مكتبي، لديّ كوب صغير مرسوم عليه صورة نيوتن ويبلغ قطره ٤ سنتيمتر، وينسكب الماء من هذا الكوب بمعدل

خمس مرات في الثانية، أما الكوب الأكبر فقطره ١٠ سنتيمتر وينسكب منه الماء بمعدل ثلاث مرات في الثانية، وهذا الكوب الكبير قديم ورخيص وقبيح المنظر ولم أحبه قط، لكني مازلت أحتفظ به لأنني أحيانًا أحتاج إلى تناول كثير من الشاي.

عندما أخرج من غرفة الشاي حاملة كوبي الممتلئ أمشي خطوتين أو ثلاثًا بحركة خفيفة في الرواق المؤدي لغرفتي، أبدأ بتحريك الشاي في الكوب، وإن أردتُ العودة إلى مكتبي من دون دلق الشاي فعليّ منع هذا الانسكاب من الازدياد، هذا هو لبّ المسألة. لا أستطيع في أثناء المشي منع حدوث اهتزاز خفيف للكوب، فإذا تساوت سرعة الاهتزاز مع التردد الطبيعي للانسكاب فسيزداد الأخير. عندما ندفع طفلًا في لعبة الأرجوحة، فإننا ندفع بوتيرة منتظمة تساوي معدل عملية الأرجحة، فتأخذ الأرجحة بالكبر والازدياد. يحدث الشيء ذاته مع الشاي، ويُطلق على هذا الرنين . فكلما زاد قرب الدفعة الخارجية من التردد الطبيعي للانسكاب، زاد احتمال اندلاق الشاي من الكوب. والمشكلة التي سيعاني منها كل الظمآنين أن ما يحدث هو مشي معظم الناس بخطوات تقترب جدًا من تردد الانسكاب الطبيعي للكوب المتداول في الاستعمال. كلما زادت سرعة مشينا، اقتربنا من تلقي الانسكاب. كما لو أنه نظام مصمم بعناية لإبطاء حركتي، لكنها مجرد مصادفة مزعجة.

وهكذا تبين أنه ما من حل حقيقي ومرضي لهذه المعضلة، فإذا استخدمتُ الكوب الصغير فستزيد سرعة حركة الشاي في الكوب، وهي سرعة أكبر من سرعة خطوات مشيي ولن يندلق الشاي. لكنني أريد أكثر من مجرد مقدار قليل من الشاي، فإذا استخدمت الكوب الأكبر فستؤدي خطواتي خفيفة الحركة إلى تقريبه كثيرًا من تردده الطبيعي وستقع كارثة بعد ثلاث خطوات فقط في الرواق. فالحل الوحيد يتمثل بإبطاء السرعة ليغدو الاهتزاز الناجم من المشي أبطأ بكثير من تردد الانسكاب . أشعر بتحسن لإقدامي على المحاولة، لكن الدرس المستفاد هنا أنه يتعذر عليّ التغلب على الفيزياء المعتمدة على الوقت.

يمتلك أي شيء يتأرجح –يتذبذب أو يتواتر- ترددًا طبيعيًا، والتردد الطبيعي يثبته الوضع، والعلاقة بين مدى قوة سحب الاتزان ومدى سرعة تحرك الأجسام عندما تصل إلى هناك. الطفل الذي يجلس على الأرجوحة مجرد مثال، إلى جانب أمثلة أخرى كالبندول، ورقّاص الإيقاع ، والكرسي الهزّاز، والشوكة الرنّانة . عندما نحمل حقيبة تسوّق مليئة بالقطع المشتراة ستبدو أنها تتأرجح بمعدل لا يتساوى

وخطواتنا، هذا لأنها تتأرجح حسب ترددها الطبيعي. وللأجراس الكبيرة نغمات عميقة لأن أحجامها تعني أنها ستستغرق وقتًا أطول لإصدار صوت انضغاط، ثم للتمدد، ثم للانضغاط مرة أخرى، وبالتالي تقرع بتردد منخفض. نتلقى قدرًا كبير من المعلومات حول أحجام الأجسام من خلال الاستماع للأصوات التي تصدر منها، وذلك لأن بمقدورنا أن نسمع طول المدة التي تهتز بها.

تشكّل هذه المقاييس الخاصة بالزمن أهمية بالغة بالنسبة لنا لأنه بإمكاننا استخدامها للتحكم بالعالم. إذا لم نرغب بتنامي حالة التذبذب فعلينا أن نحرص على ألّا يُدفع النظام نحو تردده الطبيعي. وهذا هو جوهر لعبة الشاي، أما إذا أردنا استمرار التذبذب من دون بذل جهد كبير فنختار تحفيزه على المضي بتردده الطبيعي. وليس الناس فقط من يوظفون ذلك، إنما الكلاب أيضًا.

(إنكا) على أهبة الاستعداد وسلّطت تركيزها على كرة التنس كالعَدّاء الذي ينتظر إشارة بدء السباق، وعلى إثر رفعي لكيس بلاستيكي توجد فيه الكرة ازداد ترقبها المحموم، ومن ثم حلقت الكرة فوق رأسها فانطلقت وراءها، إنها حزمة ممشوقة من الحماس والطاقة التي لا تبدو عليها علامات النضوب. تبادلتُ ومالكها كامبل الحديث في الوقت الذي هرعت فيه (إنكا) بكل سعادة لتقطع العشب المُتَشَعِّب. لم تُعِد لنا الكرة التي رميتها لأنها وضعت كرة تنس أخرى في فمها، ومن الواضح أن هذا «شيء مميز لدى كلاب الصيد»، لكن عندما وصلت إليها وقفت تحرسها إلى أن لحقنا بها وقذفنا الكرة الأولى لمسافة أبعد. وبعد نصف ساعة من المطاردات التي لم تتوقف، جلست أخيرًا في مكانها حيث يحف ذيلها العشب بمرح وتطلعت للأعلى وهي تلهث لترانا.

دنوتُ منها وربتّ على ظهرها، جعلها ذلك الجري كله حول تلك الأرجاء حارّة الجسم، ليس على جسمها عرق، فالكلاب لا تتعرق، لكن عليها أن تتخلص من كل تلك السخونة الزائدة. ويبدو لهاثها كجهد مضنٍ، لبذلها على ما يبدو كثيرًا من الطاقة، وكذلك توليدها لحرارة أكبر، يبدو ذلك كشيء ملغز. لم تتضايق (إنكا) من تأملاتي فيها، بل سرّها أن يربت عليها أحد، وسال من فمها الواسع كثير من اللعاب. بعد أن فرغتُ من الجري عاد معدل أنفاسي إلى طبيعته تدريجيًا، أما (إنكا) عندما تتوقف عن اللهاث فهذا يحدث فجأةً. تنظر نحوي بعينيها البنيتين الكبيرتين، وأتساءل كم من الوقت تحتاجه لكي تستعيد نشاطها قبل أن يحين الوقت لمزيد من كرات التنس.

أفضل طرق التخلص من الحرارة هي تبخير الماء، ولهذا السبب نتعرّق. يستهلك تحويل الماء السائل إلى غاز كمية كبيرة من الطاقة، ثم يطفو الغاز بعيدًا في الهواء آخذًا معه الطاقة. وبما أن الكلاب لا تتعرق، فلا يخرج ماء من جلودها ليتبخر، إلا أن ماءً كثيرًا يوجد في جيوبها الأنفية، وآلية اللهاث إنما تتركز في دفع أكبر كمية ممكنة من الهواء من داخل أنوفها المبللة؛ وذلك للتخلص السريع من الحرارة. تبدأ (إنكا) باللهاث من جديد وكأنها تريد البرهنة على هذه النقطة، وأظن أنها تأخذ ثلاثة أنفاس في كل ثانية مما قد يبدو أنه مشقة كبيرة، غير أن أجمل ما في الأمر أنه ليس كذلك، إن رئتيها تعملان كمولد الذبذبات ، ويعد ذلك المعدل للأنفاس الذي تصل إليه رئتاها أقصى معدل للكفاية لأنه التردد الطبيعي لرئتيها. إنها توسع أنسجة جدران الرئة المرنة على إثر استنشاقها لكل نَفَس، ثم تدفع الأنسجة المرنة بعد برهة دفعًا مضادًا قويًا يكفي لتدوير هذه العملية برمتها، ومع عودة الرئتين لحجمهما السابق للتوسع، تضيف قدرًا ضئيلًا من الطاقة لإرسالها نحو دورة مرة أخرى. على أن الجانب السلبي يظهر عند تنفسها بهذه السرعة، فهي لا تستبدل الهواء الكامن عميقًا في رئتيها، وبالتالي لا تحمل في الحقيقة كمية أكسجين إضافية في الوقت الذي تجري فيه هذه العملية، وهو ما يفسر عدم تنفسها على هذا النحو طوال الوقت. لكن في تمام اللحظة التي يفوق احتياجها للتخلص من الحرارة احتياجها للأكسجين ومن خلال دفع رئتيها نحو التردد الصحيح بالضبط، فإنها تحصل على أكبر كمية ممكنة من الهواء عبر أنفها وذلك بأقل جهد ممكن. وهكذا فإن اللهاث ما هو إلا عملية توليد لقدر صغير من الحرارة مقابل ما تخلصت منه. إنها تتنفس من أنفها لكنها توسع من فتح فمها لأن إسالة اللعاب تجعلها أبرد، ويساعد أيضًا تبخر اللعاب على التخلص من طاقة الحرارة. يتوقف اللهاث مرة أخرى، وترمق (إنكا) باهتمام كرة التنس المطروحة أرضًا، وتكفيها نظرة متسائلة نحو كامبل (وهو خبير بذلك) لكي تبدأ اللعبة من جديد.

يعتمد التردد الطبيعي لجسم بعينه على شكله ومكوّناته، بيد أن العامل الذي يفوق ذلك هو حجمه، وهذا ما يفسر لهاث الكلاب الصغيرة بمعدل أسرع، فهي تمتلك رئات أصغر تعمل على الانتفاخ والانكماش مرات أكثر في كل ثانية. إن اللهاث وسيلة فعّالة للتخلص من الحرارة في حالة إذا ما كان الجسم صغيرًا. غير أن فعاليته تقل كلما كبر الجسم، ولعل هذا ما يفسر سبب تعرّق الحيوانات الأكبر بدلًا من اللهاث (لا سيما الحيوانات قليلة الشعر مثلنا).

تمتلك كل الأجسام ترددًا طبيعيًا، وغالبًا أكثر من تردد طبيعي واحد إذا توفرت لها أنماط مختلفة ومحتملة من الاهتزازات، فإذا كبرت الأجسام تقل هذه الترددات على وجه العموم. يتطلب تحريك الأجسام الضخمة دفعًا هائلًا، لكن حتى البنايات قابلة للاهتزاز وإن كان ببطء شديد، يمكن لأي بناية أن تهتز كرقّاص الإيقاع الذي يأخذ شكل البندول المقلوب، فبينما قاعدته ثابتة فإن قمته تتحرك، وتتحرك الرياح في أعلى البناية أسرع من تحركها عند مستوى الأرض، وهذا يكفي لمنح البنايات الطويلة قليلة العرض نوعًا من الاهتزاز الذي يجعلها تتمايل عند درجة ترددها الطبيعي. لعل أحدنا لو صعد إلى أعلى بناية طويلة في يوم عاصف لشعر بذلك، إذ تستغرق الدورة الواحدة بضع ثوانٍ. تسبب هذه الظاهرة قلقًا للبشر الموجودين في هذه الأماكن الشاهقة، ولذلك يقضي المهندسون المعماريون كثيرًا من الوقت للعمل على تقليل ذلك التمايل، وعلى الرغم من عدم قدرتهم على التخلص تمامًا من إزعاجه، إلا أن بمقدورهم تغيير التردد والمرونة اللتين تقللان الإحساس به. إذا شعرتم بالتمايل في أعلى العمارات الطويلة فلا تقلقوا – فكل البنايات مصممة على الانثناء، ولن تسقط.

قد تتحرك الرياح بقوة عاصفة لكنها لا تدفع بنسق منتظم يكافئ التردد الطبيعي للعمارة، وبالتالي ثمة حد لمدى سوء التمايل الذي قد تتلقاه، لكن هزة أي زلزال تطلق تموّجات وموجات هائلة في الأرض، تنتقل من مركز الزلزال، وتعمل ببطء على إمالة الأرض من جوانبها. فماذا يحدث عندما تواجه عمارة شاهقة زلزالًا؟

أخذت مدينة مكسيكو سيتي في صبيحة التاسع عشر من سبتمبر/أيلول سنة ١٩٨٥ بالاهتزاز، إذ عملت طبقات القشرة الأرضية «التكتونية» الواقعة أسفل حافة المحيط الهادئ على بعد ٢١٧ ميلًا، على الانقلاب فوق بعضها لتولد بذلك زلزالًا بلغت قوته ٨,٠ على مقياس ريختر. استغرقت الهزة الأرضية في مكسيكو سيتي ما بين ثلاث إلى أربع دقائق فقط لا غير، إلا أنها مزّقت المدينة إربًا إربًا. لقد قُدّر عدد القتلى بعشرة آلاف شخص وأصيبت البنية التحتية للمدينة بأضرار بالغة، ولم تعد المدينة لوضعها إلا بعد سنين. وقد بعث المعهد الوطني الأمريكي للمعايير والتقنية ووكالة المسح الجيولوجي الأمريكية فريقًا من أربعة مهندسين واختصاصيًا بعلم الزلازل لتقدير الأضرار، فأسفر تقريرهما عن أن مجموعة من الترددات تراكمت بصدفة مروّعة لتتسبب في أكثر أضرار الزلزال سوءًا.

بادئ ذي بدء، تقع مدينة مكسيكو سيتي على قمة رواسب قاع بحيرة تملأ حوضًا صخريًا. وأظهرت أجهزة رصد الزلازل أمواجًا منتظمة جميلة بتردد واحد، حتى وإن بدت طبيعة الإشارات الزلزالية أكثر تعقيدًا من ذلك. فقد تبيّن أن جيولوجيا رواسب البحيرة أظهرت لهم تردد اهتزاز طبيعي، وعملت الجيولوجيا على تضخيم أو تكبير إشارات أية موجات استغرقت مدتها زهاء الثانيتين، فأصبح الحوض بأسره لفترة مؤقتة كسطح منضدة يهتز بتردد واحد تقريبًا.

كان التكبير سيئًا بما فيه الكفاية، لكن عندما تأمل المهندسون الأضرار المحددة اكتشفوا أن معظم البنايات التي انهارت أو تضررت بأضرار بالغة كانت طوابقها ما بين خمسة طوابق إلى عشرين طابقًا، أما البنايات التي تزيد طوابقها أو تقل عن ذلك (وكثير منها بهذه الأطوال) فنجت ولم يكد يمسها ضرر. لقد تساوى التردد الطبيعي للهزة الأرضية مع التردد الطبيعي للعمارات متوسطة الطول. ومع استمرار الدفع المنتظم بالتردد الطبيعي نفسه، أخذت تلك العمارات تهتز كالشوكات الرنانة المستخدمة فيزيائيًا، ولم يكن لها أدنى فرصة للصمود.

يولي المهندسون المعماريون بعصرنا الراهن مسألة التحكم في التردد الطبيعي جديةً قصوى، بل أصبحت إدارة الاهتزاز عملية يُحتفى بها مرارًا. كانت ناطحة السحاب الكبرى تايبيه ١٠١ في تايوان التي يصل طولها إلى ٥٠٩ مترًا خلال الفترة من ٢٠٠٤ إلى ٢٠١٠؛ البناية الأطول في العالم، أما موقع الزيارة الذي نستهدفه فيها حيث تتوفر منصات المشاهدة فيوجد في الطوابق ما بين ٧٨ إلى ٩٢ من الناطحة. هذا القسم من الناطحة مجوف وثمة كرة ضخمة ومطلية بالذهب على شكل بندول تزن ٦٦٠ طن معلقة فيه. إنها جميلة وغريبة الشكل، لكنها عملية كذلك. وضعوها هناك ليس لغرض الاستعراض الجمالي، بل لزيادة قدرة الناطحة على مقاومة الزلازل، واسم الكرة التقني هو جسم امتصاص الاهتزازات ، وتتركز فكرته أنه عند وقوع زلزال (وحصوله شائع في تايوان)، تتمايل الناطحة والكرة تمايلًا مستقلًا، فعند بدء الزلزال تميل الناطحة نحو اتجاه وتسحب بندول الكرة نحو الاتجاه الآخر أيضًا، لكن في الوقت الذي تتحرك الكرة بذلك الاتجاه تعود الناطحة لتميل نحو الاتجاه الآخر وتعمل الآن على شد الكرة لتعود للاتجاه المقابل. وهكذا فإن الكرة دائمًا تسحب نفسها نحو الاتجاه المعاكس للناطحة مقللةً بذلك من تمايلها. يمكن للكرة التحرك لمسافة ١,٥ متر نحو جميع الاتجاهات، وتقلل النسبة الإجمالية للاهتزاز للناطحة إلى ٤٠ بالمئة . سيتمتع البشر في الداخل براحة كبيرة

إذا لم تتحرك الناطحة، لكن الزلزال يدفع الناطحة بعيدًا عن حالة الاتزان مما يجبرها على الحركة. ليس بمقدور المهندسين منع هذا من الحصول لكن بوسعهم تعديل ما سيحصل في رحلة العودة. ما من خيار أمام الموجودين في البناية سوى الجلوس والتشبث بأماكنهم مع تأرجح الناطحة الضخمة وتجاوزها لمركز الاتزان وعودتها له مرة أخرى، وهكذا دواليك إلى أن تتلاشى طاقة الزلزال ويعود الثبات والسكون.

***

دائمًا ما يتحرك العالم الفيزيائي نحو الاتزان، وهذا قانون فيزيائي أساسي يُعرف بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية ، لكن ما من شيء في هذه القواعد يحدّد مدى سرعة وصول الأجسام إلى هناك، وكل دفعة من الطاقة تبعد الأجسام عن حالة الاتزان وتغيّر من قواعد اللعبة، ومن ثم يبدأ التقليل التدريجي للحركة من جديد. يعتمد وجود الحياة ذاتها على توظيف هذا النظام واستخدامه لانتقال الطاقة من مكان إلى مكان آخر من خلال التحكم بسرعة التدفق نحو الاتزان.

ما زالت النباتات تتسلل إلى حياتي مع أنني أعيش في مدينة كبيرة، إذ بمقدوري أن أرى من مطبخي ضوء الشمس البراق يسقط على شتلات الخس ونبتات الفراولة والأعشاب في الشرفة. يمتص الخشب الضوء الهابط على السطح الخشبي، وهذا ما يزيد من سخونته فتتشتت هذه الحرارة في نهاية الأمر في الهواء والبناية. يتم الوصول إلى حالة الاتزان بسرعة وما من شيء مثير يحدث في أثناء الطريق، غير أن ضوء الشمس الذي يقع على أوراق الكزبرة يدخل إلى ما يشبه المصنع، فبدلًا من أن يتحول مباشرةً إلى حرارة يتم تحويل وظيفته ليخدم عملية البناء الضوئي. يستخدم النبات الضوء لإخراج الجزيئات من حالة الاتزان، فيحتفظ بذلك بالطاقة داخليًا. وتستخدم آليات النبات الطاقة على مراحل للتحكم بأسهل المسارات؛ للعودة نحو الاتزان، بصنع جزيئات تعمل كبطاريات كيميائية لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى سكر. إنه يشبه نظامًا معقدًا بديعًا لقنوات مائية تحمل الطاقة ومجهز ببوابات إقفال مكتملة ومقاطع للمرور وشلالات وساقيات، كما يتحكم بتدفق الطاقة تغيير السرعة التي يمر بها عبر كل مقطع، وتجبر الطاقة على بناء جزيئات معقدة وهي سائرة في طريقها بدلًا من أن تفيض مباشرة نحو الأسفل. لا تعدُّ هذه في حالة اتزان لكن يمكن للنبتة تخزينها إلى أن تحتاج إلى طاقتها، ومن ثم تضعها بمكان حيث تأخذ الخطوة التالية نحو الاتزان ثم الخطوة

التي تليها. طالما أن الضوء يسقط على نبتة الكزبرة فهي تستمد الطاقة للمحافظة على المصنع في حالة شُغل، وتجري بلا كلل نحو الاتزان مع تغيير حقن الطاقة لقواعد اللعبة. سأتناول في نهاية المطاف الكزبرة وهو ما سيزود حقنة الطاقة لنظام جسمي، وسأستخدم تلك الطاقة لإبعاد جسمي عن حالة الاتزان، وكلما واصلت الأكل لن يتمكن النظام من المواكبة، ولن يتم الوصول إلى حالة الاتزان، لكن أنا من يختار توقيت الأكل وجسمي يختار توقيت استخدام تلك الطاقة، وكل ذلك من خلال التحكم ببوابات ضبط التدفق.

من المثير للدهشة أن أحدًا لم يستطيع ابتكار تعريف لماهية الحياة على هذا الكوكب على الرغم من مدى شيوع الحياة وكونها مألوفة لجميع البشر إننا نعرفها عند رؤيتنا لها لكن العالم الحي من عادته أن يقدم استثناءات لأية قواعد بسيطة. فأحد هذه التعريفات للحياة أنها محاولة مستمرة للحفاظ على حالة عدم الاتزان، وأن تستخدم تلك الحالة لبناء مصانع جزيئات معقدة قادرة على إعادة إنتاج ذاتها والتطور. إن الحياة بذاتها قادرة على التحكم بالسرعة التي تتدفق بها الطاقة عبر نظامها، وأن تتلاعب بذلك الفيض لكي تصون نفسها. لا شيء يوجد في حالة الاتزان يمكن أن يكون حيًا، وهذا يعني أن مفهوم اختلال الاتزان يعد جوهريًا لمسألتين من أكثر المسائل غموضًا في عصرنا؛ أولهما: كيف بدأت الحياة؟ وثانيها: هل توجد حياة في أي مكان آخر من الكون؟

يعتقد العلماء في الوقت الراهن أن الحياة - لَعَلَّها- قد بدأت في الفوهات البحرية العميقة قبل ٣,٧ مليار سنة، وكان يوجد داخل هذه الفوهات مياه قلوية دافئة، أما خارجها فهناك مياه محيطية حمضية أبرد قليلًا، وإثر اختلاطهما عند قمة الفوهة، تحققت حالة الاتزان. وكان يبدو أن الحياة البدائية ربما بدأت بالوقوف في منتصف ذلك المسار نحو الاتزان وعملت كحارس البوابة. انحرف التدفق نحو الاتزان لبناء الجزيئات البيولوجية الأولى، أما أول بوابات الخروج فلربما نشأ وتطور ليصبح غشاء خلية، وهو الجدار الذي نجده حول كل خلية، وهو الذي يفصل الداخل حيث توجد حياة عن الخارج حيث لا توجد حياة. وقد نجحت أول خلية لأنه كان بمقدورها كبح الاتزان، وهو بمنزلة المدخل نحو التعقيد الجميل لعالمنا الحي. لعل العملية ذاتها تنطبق على العوالم الأخرى.

يبدو أن ثمة أرجحية كبيرة بوجود حياة في مكان آخر في الكون، فهنالك كثير من النجوم والكواكب والظروف المختلفة التي ستكون قد حدثت فعلًا في أماكن

أخرى؛ لتكوين شكل من أشكال الحياة مهما كانت الظروف مخيفة ومفزعة. لكن وجود الحياة من خلال إرسال إشارة لاسلكية قليلة جدًا. وبغض النظر عن أي شيء آخر، يُعد الفضاء من الضخامة بحيث إنه بحلول وقت وصول أية إشارة لنا فإن الحضارة التي أرسلتها يرجح أنها قد انقرضت منذ زمن بعيد. وعلى الرغم من ذلك، ربما إرسال إشارات نحو أرجاء الكون لمعرفة وجود الحياة غير مقصود كليًا. يوجد على قمة جبل موانا كيا في هاواي قبتَا تلسكوب تظهران ككرتين بيضاويّتين وعملاقتين متقابلتين وجنبًا إلى جنب فوق حافة جبلية. أول انطباع لي عندما رأيتهما أنهما تشبهان عيني ضفدعين يحدّقان نحو الكون؛ إنه مرصد كيك، ولعل تلكما العينين العملاقتين هما اللتان ستريان أولى الإشارات الدالة على وجود حياة خارج نظامنا الشمسي. ومع مرور كواكب غريبة أمام النجوم البعيدة التي تدور حولها، تضيء أشعة النجم الغلافَ الجوي، وتطبع غازات الغلاف الجوي بصمتها على الضوء. بدأ مرصد كيك بالتقاط تلك البصمات، ولعله سرعان ما سيكون بمقدورهم تفحص الأغلفة الجوية التي ليست في حالة اتزان. فكثرة الأكسجين إلى الحد الذي لا يبقيه وكثرة غاز الميثان... قد تكشف عن أساسيات الحياة على هذا الكوكب، وتغير توازن عالمها الذي يجعلها تبتعد عن حالة الاتزان. لعلنا لن نعلم على وجه اليقين، لكن هذه أقرب نقطة لنا على الإطلاق للتعرف إلى وجود كائنات حية هناك؛ وهذا سيكون الدليل على وجود شيء يتحكم بسرعة الزحف نحو الاتزان، مع بنائه لتعقيدات حية لن نراها أبدًا.

الفصل الخامس: صنع الموجات من الماء إلى (الواي فاي)

عندما يذهب الناس إلى الشاطئ لا يعقل أن يديروا ظهورهم للبحر لفترة طويلة، فهذا مما لا يصح لأنهم سيفتقدون الاستمتاع بعظمة هذا المنظر وفخامته، هذا من جهة، أما من الجهة الأخرى فإن النظر للاتجاه المعاكس للبحر يمنع من متابعة ما يطرأ على البحر من مجريات. كما أن مشاهدة ذلك الحد الفاصل بين البحر واليابسة وهو يتجدد ويعيد تشكيل نفسه باستمرار يبعث إلى النفس شعورًا غامضًا بالطمأنينة. كانت مكافأتي بعد أي يوم مرهق وطويل عندما عشتُ في ضاحية لاهويا في كاليفورنيا أن أتمشى من منزلي حتى ساحل المحيط وأجلس على صخرة وأراقب الأمواج عند هبوط الشمس. وتظهر الأمواج على بعد مئة متر من الشاطئ طويلة ومنخفضة ويصعب رؤيتها. غير أن الأمواج تصبح على إثر تحركها نحو الساحل أكثر انحدارًا ووضوحًا إلى أن تتكسر على الشاطئ، فأتابع وأنا جالسة على الصخرة قدوم أمواج جديدة لا نهاية لها لساعات طوال.

كلنا نعرف الموجة، لكن وصفها ليس من السهولة بمكان، فالأمواج على ساحل البحر مَوَاكب من سطوح مائلة متموّجة على سطح الماء الذي ينتقل من هناك إلى هنا. يمكننا قياسها بالنظر إلى المسافة بين قمم الأمواج المتلاحقة وارتفاعها هي ذاتها، كما أن الموجة قد تصبح صغيرة كالتموّجات الضئيلة التي نصنعها عند نفخنا على الشاي أو القهوة، أو قد تكون كبيرة بحجم سفينة.

إلا أن للأمواج سمة شديدة الغرابة، وقد أظهرها البجع الذي يتجمع قرب سواحل لاهويا بوضوح. يعيش البجع بني اللون على طول ذلك الساحل، ويبدو مظهره من القدم الشديد بحيث نتساءل ونتعجب: هل حلّقت لتصل إلينا عبر ثقب دودي منذ بضعة ملايين من السنين؟ يمتلك هذا البجع منقارًا طويلًا يبقى عادةً مطويًا وملتصقًا بجسمها، وغالبًا ما تُشاهد مجاميع صغيرة من هذه الطيور الفضولية تنحدر بوقار فوق الأمواج الموازية للساحل، ونراها بين الحين والآخر ترتمي بلا تكلف على سطح المحيط، وهنا يظهر الجزء المثير للاهتمام؛ إن الأمواج التي تجلس عليها تلك الطيور تتحرك بلا توقف نحو الشاطئ، لكن البجع لا يتحرك من مكانه.

عليكم بملاحظة طيور البحر وهي تجلس على سطح موجة الماء إذا ذهبتم للشاطئ وتابعتم قدوم أمواج البحر، فبينما تحمل الأمواج رُكّابها، لا تتحرك الطيور

نحو أي مكان في الحقيقة. ما نستنتجه من هذا أن الماء أيضًا لا يتحرك نحو أي مكان. الأمواج تتحرك، لكن الشيء الذي «يموّج» الماء لا يتحرك. لا يمكن للموجة أن تكون بحالة سكون؛ فلا تعمل الموجة كلها إلا إذا تحرك شكلها. إذن فإن الأمواج تحرّك، وهي تحمل الطاقة لأنها تأخذ الطاقة لتغيير الماء إلى شكل الموجة وتعيده إلى ما كان قبل ذلك، لكنها لا تحمل الأجسام. فالموجة إنما هي شكل متحرك منتظم لنقل الطاقة. أعتقد أن هذا هو السبب الحقيقي في أنني وجدت في جلوسي على الشاطئ وتأملي للبحر أمرًا يبعث على الراحة والاستشفاء. وبمقدوري أن أرى كيف تحمل الأمواج الطاقة باستمرار نحو الشاطئ، وأن أرى الماء ذاته لا يتغير أبدًا.

تأتي الأمواج على أصناف وأشكال مختلفة، غير أن ثمة مبادئ أساسية تنطبق عليها جميعًا، فالموجات الصوتية المنبعثة من دلفين، والموجات البحرية الصادرة من حصاة، والموجات الضوئية القادمة من نجم بعيد؛ إنما تتشاطر بسمات مشتركة. ولا نكتفي في أيامنا هذه بالاستجابة إلى الموجات التي تزودنا بها الطبيعة، بل نقدم كذلك مساهمةً شديدة التعقيد بهذا الطوفان من الأمواج، وهو ما يربط العناصر المبعثرة لحضارتنا، إلا أن استخدام البشر للموجات عن وعي وإدراك لغرض تعزيز الروابط الثقافية ليس وليد اللحظة، بل تبدأ هذه القصة منذ قرون سالفة وفي وسط محيط شاسع.

لعل منظر ملك يقوم برياضة ركوب الأمواج على لوح يبدو من المناظر الغريبة التي نراها في الأحلام، لكن قبل ٢٥٠ سنة امتلك كل ملك وملكة وزعيم قبلي وزعيمة لوحًا لركوب الأمواج، وكانت البسالة الملكية في أداء هذه الرياضة الوطنية مبعثًا لفخر معتبر. لوح ركوب الأمواج «أولو» الطويل والضيق مخصص لعلية القوم، أما عامة الناس فيركبون ألواحًا أقصر ولها قدرة أكثر على المناورة يسمونها «آلاياه». وكانت تُقام المنافسات آنذاك، وتقدّم محتوى أساسيًا لكثير من الحكايات الشعبية والأساطير في هاواي . عندما يعيش أحدنا في جزيرة استوائية خلابة ومحاطة بمحيط أزرق عميق، يمسي تكوين ثقافة مرتكزة حول اللعب في البحر معقولًا إلى حد بعيد. بيد أن رواد ركوب الأمواج في هاواي تمتعوا بشيء آخر يتحرك لصالحهم؛ نوع الأمواج المناسبة، فموقع جزيرتهم الصغيرة في وسط محيط شاسع ممتاز جدًا، إذ عملت جغرافيا هاواي وفيزياؤها

على تنقية تعقيدات المحيط لصالح أهلها، فأمكن لملوكها وملكاتها ركوب الأمواج بناءً على ذلك.
بينما يغني أهل هاواي أناشيدهم تحفيزًا للبحر المسطح الذي لا تهب عليه رياح؛ ليرتفع بموجات قابلة للركوب عليها، يختلف الوضع السائد على بعد مئات الأميال في المحيط. إذ تندفع الرياح في العواصف الهائلة على سطح المحيط ملقيةً طاقة من خلال إجبار الماء ليتحول إلى شكل أمواج، لكن أمواج العواصف تتكوّن من مزيج مضطرب من أمواج قصيرة وطويلة تنتقل نحو اتجاهات مختلفة، وتتكسر ويُعاد بناؤها وتتصادم. وتعد العواصف الشتوية على خط عرض ٤٥ درجة مألوفة، إذن: ستكون العواصف ناحية شمال هاواي في شتاء النصف الشمالي وناحية جنوب هاواي في شتاء النصف الجنوبي. لكن لا بد للأمواج أن تنتقل، فحتى مع خفوت رياح العواصف ستتوسع رقعة المحيط الهائجة متجاوزة حواف العاصفة نحو المياه غير المضطربة. أما هنا عند الساحل أمكن لعملية فرز أن تقع، إذ سيُكشف النقاب عن الطبيعة الحقيقية لتلك المعمعة المضطربة، فهي ليست فوضى مشوشة بل مجموعات كبيرة من أصناف الموجات المختلفة يقف بعضها فوق بعض. ينتقل الموج ذو الطول الموجي الأطول (وهي المسافة بين قمم الأمواج) أسرع من الموجات ذات الطول الموجي الأقصر، وبالتالي فإن أول الموجات الهاربة ستكون الأطول متجاوزة بهذا السباق مثيلتها الأقصر، لكن ثمة ثمن لا بد من دفعه مع انتقال موجة الماء، فمحيطها سيستولي على الطاقة، ويصبح الثمن لكل ميل عاليًا على الأمواج القصيرة. وهي لا تخسر السباق وحسب بل تفقد كذلك الطاقة، ولا يمضي وقت طويل حتى تتلاشى. وبعد أيام عدة وعلى مسافة مئات الأميال، كل ما يتبقى هو الأمواج الأطول، موجة هادئة وناعمة ومنتظمة، وتحدث لمعانًا يشع على أرجاء الكوكب.
وبالتالي فإن أول المزايا التي تتمتع بها هاواي هو بعدها الكافي عن العواصف الهائجة التي لا تواجهها إلا على شكل بقايا أمواج هادئة وطويلة المدى وناعمة ومرتبة. أما المزية الأخرى التي تتمتع بها هاواي فهي أن المحيط الهادئ عميق للغاية والجوانب البركانية للجزيرة تقع على جرف منحدر، إذ تنتقل الأمواج عبر سطح المحيط من دون عائق يعيقها إلى أن تصل فجأة إلى الجرف المنحدر، ثم تتركز كل الطاقة التي توزعت على العمق الكبير في المياه الضحلة، مما يوجب زيادة ارتفاع الأمواج. فكان أهل هاواي ينتظرون على مقربة من الشاطئ الدفعة

الأخيرة الهادئة من تلك الأمواج الهائجة والمخيفة على إثر تحولها إلى أمواج منحدرة إلى الحد الذي يجبرها على أن تتكسر على الشواطئ المميزة للجزيرة. ومع تكسر الأمواج وتوزعها، يطيب لملوك الجزيرة وملكاتها ركوبها بألواحهم.
لعل أولى الأمواج التي يميزها الناس هي أمواج الماء، فالشيء الذي تتمايل على سطحه بطّة لن يصعب تخيّله أو فهمه. لكن الأمواج تأتي على أنواع مختلفة، وكثير من المبادئ الفيزيائية تنطبق عليها جميعًا. تمتلك جميع الموجات طولًا موجيًا، وهو المسافة التي يمكن قياسها بين قمة الموجة والقمة التي تليها، ولأنها كلها تتحرك فهي تمتلك ترددًا أيضًا، وهو الدورات (من القمة إلى الحضيض وإلى القمة مرة أخرى) في الثانية الواحدة. كما أن لكل الموجات سرعة أيضًا، لكن بعضًا منها (مثل موجات الماء) تنتقل وتتحرك بسرعات متباينة حسب أطوالها الموجية. على أن المشكلة التي تظهر بمعظم الموجات أننا لا نرى ما الذي يسبب التموّج. تنتقل موجات الصوت عبر الهواء، وهي موجات انضغاط؛ فما يمر منها بدلًا من الشكل المتحرك هو الدفع. أما الموجات التي يصعب تخيلها فهي أكثرها شيوعًا أمامنا؛ موجات الضوء، وتتحرك عبر حقول مغناطيسية وكهربائية، وعلى الرغم من عدم رؤيتنا للكهرباء إلا أن بمقدورنا رؤية تأثيرات الضوء كأمواج من حولنا .
أحد الأسباب الأساسية في أن الموجات مفيدة ومثيرة للاهتمام يكمن في أن المحيط الذي تعبر من خلاله غالبًا ما يغيّرها. وتعدّ موجة ما وقت رؤيتها أو سماعها أو اكتشافها كنزًا دفينًا من المعلومات لأنها تحمل بصمة المكان الذي كانت فيه، لكن هذه البصمة تُطبع بطرق بسيطة نسبيًا. هنالك ثلاثة أشياء يمكن أن تحدث لأية موجة؛ يمكن أن ترتد وتنعكس، أو يمكن أن تنكسر وتنحرف، أو يمكن أن تُمتص.
***

لو تجولنا في جناح بيع السمك في السوق المركزي ونظرنا لما هو معروض فسنرى أن اللون الغالب في المكان هو اللون الفضي، أما الاستثناءات لهذه القاعدة فتوجد في السمك الاستوائي مثل سمك البوري الأحمر ، وسمك النهّاش الأحمر والأسماك التي تسكن الأعماق مثل سمك موسى وسمك الفلاوندر (الهلبوت). لكننا نرى في أغلب الأحيان سمكًا يسبح في المحيط المفتوح وفي مجاميع كبيرة من الأسماك، مثل أسماك الرنجة والسردين والإسقمري. يثير اللون الفضي الاهتمام لأنه في حقيقته ليس لونًا، بل هو مجرد كلمة لوصف شيء يتصرف كمنصة وثب

تشبه لعبة (ترامبولين) للضوء، فهو عند استقباله للضوء يردّه مرة أخرى للعالم. بإمكان كل الموجات أن تنعكس وترتد، وتكاد كل المواد تعكس بعضًا من الضوء. وما يميّز اللون الفضي أنه يردّ ويعكس كل شيء يستقبله بلا أدنى تمييز، ويتعامل مع كل لون بالطريقة ذاتها بلا تمييز كذلك. وتجيد المعادن المصقولة أداء هذه الخدعة، وهي مفيدة لأن الزاوية التي يسقط بها الضوء على السطح هي الزاوية التي ينعكس بها من السطح. لو أننا التقطنا صورة للعالم واستخدمنا مرآة لعكسها في اتجاه مختلف، فستظل الزوايا النسبية لكل تلك الأشعة الضوئية على حالها بلا تغيير. يصعب صقل المعدن صقلًا تامًا بما يكفي ليكون مثل المرآة التي تعكس الصور بشكل متكامل، وقد ثمّن الناس المرايا في التاريخ البشري تثمينًا عاليًا، ومع ذلك لم نفكر جديًا بكيفية عكس السمك الفضي للضوء، وكأن ما نعرفه بدَهي. إن السمك غير قادر على استخدام المعدن ليكون فضيًا، وعليه أن يبني من جزيئات عضوية أنسجة تفعّل عملية الانعكاس ذاتها التي تقوم بها المرايا، وهذه عملية معقدة وبالتالي مكلّفة من الناحية التطورية، فتصور نفسك أيها القارئ كسمكة رنجة، لمَ تعبأ بذلك أصلًا؟

تجوب أسماك الرنجة البحار في مجاميع، وتتغذى على كائنات بحرية صغيرة تشبه القريدس (الروبيان أو الجمبري)، وتأمل أن تفلت من براثن آكلات اللحوم الكبيرة كالدلافين والتونا والقد والحيتان والفقمات. لكن المحيطات شاسعة وتغلب عليها الأماكن الفارغة التي لا يتوفر فيها مخابئ. إذن: الحل الوحيد أمام سمك الرنجة التخفّي عن العيون، أو أقرب ما يمكن أن تقدمه لها الطبيعة، ألا وهو التمويه . إذن هل يتعيّن على السمك أن يظهر باللون الأزرق ليضاهي الخلفية المائية من حوله؟ المشكلة المترتبة على هذا أن درجة اللون تعتمد على توقيت اليوم وما يوجد في الماء، ولهذا فإن درجة اللون تتغير طوال الوقت. لكن لا بد على سمك الرنجة أن يبدو بالضبط كما يبدو عليه الماء من خلفه إن أراد أن ينجو، لذا يعمل على تحويل نفسه إلى ما يشبه مرايا بحرية لأن المحيط الفارغ من خلفه يبدو تمامًا كالمحيط الفارغ من أمامه، وبوسع هذا السمك أن يعكس ٩٠ في المئة من كل الضوء المسلط عليه، على غرار مرآة الألومنيوم عالية الجودة، وكذلك يستطيع سمك الرنجة، من خلال عكس موجات الضوء على عيون مفترسيه المحتملين، أن يسبح هنا وهناك في المحيط خلف درع مصنوع من الضوء.

لا يعمل الانعكاس دائمًا بهذه الكفاءة والإتقان، فلا يعكس الجسم سوى بعض من الضوء في معظم الأحيان، لكن ذلك مفيد وجميل إذا وُضِع جسمان بجانب بعضهما وأردنا التمييز بينهما. الكوب الذي يعكس الضوء الأزرق هو كوب الشاي الخاص بي، أما الكوب الذي يعكس الضوء الأحمر فهو كوب أختي. إذن: الانعكاس يشكّل أهمية عندما تصطدم الموجة بالسطح، لكن ليس هذا الشيء الوحيد الذي قد يحدث عندما يواجه الضوء حدًا، فالانعكاس يستطيع تحويل الأمواج بأسلوب أكثر رقة وبراعة فيبدّل بذلك كيفية انتقالها.

عندما تقف ملكة من جزيرة هاواي على حافة صخرية تطل على الساحل وتراقب تكوين ركوب الموج، ستلاحظ أنه على الرغم من اقتراب الموجة الطويلة على المحيط المفتوح من اتجاه مختلف كل يوم، حيث النقطة التي تصل عندها أمواج الماء إلى الساحل، إلا أنها دائمًا ما تكون موازية للشاطئ. الأمواج لا تأتي من الجوانب على الإطلاق مهما كان الاتجاه الذي يواجهه الساحل، ويكمن السبب في هذا أن سرعة أمواج المياه إنما تعتمد على عمق الماء، كما أن الأمواج في المياه الأعمق تنتقل بسرعة أكبر. تخيلوا شاطئًا طويلًا ومستقيمًا تأتيه موجة طويلة من اتجاه يميل قليلًا ناحية يسار خط الاستقامة، سيكون الجزء من قمة الموجة الذي على يمين خط الاستقامة، الأبعد عن الساحل، في المياه الأعمق، وبذا ستنتقل بسرعة أكبر لتلاحق الجزء الأقرب من الموجة، وتدور قمة الموجة برمتها باتجاه عقارب الساعة مع تحركها نحو الشاطئ لتصطف مع الشاطئ بخط مستقيم. وبحلول الوقت الذي تتكسر فيه الموجة، تصبح قمة الموجة موازية للشاطئ، وهكذا يمسي بالإمكان تغيير الاتجاه الذي ستنتقل فيه الموجة من خلال تغيير سرعة بعض من أجزاء قمة الموجة بالمقارنة مع الأجزاء الأخرى، ويُطلق على هذا ظاهرة «الانكسار» .

من السهولة بمكان تغيير سرعة موجة الماء، لكن ماذا عن الضوء؟ يتحدث الفيزيائيون دائمًا عن «سرعة الضوء»، وهي سرعة هائلة لا يتخيلها عقل، وعنصر ثابت في أهم إنجازات آينشتاين وأشهرها على الإطلاق؛ نظريتا النسبية العامة والنسبية الخاصة. يبقى اكتشاف أن ثمة «سرعة للضوء» ثابتة خاضعًا للجدل وصعبًا على القبول وألمعيًا، ولعلي أعكر صفو كثير من القراء حين أقول إنهم لم يقفوا في حياتهم قط على موجة ضوئية وحيدة تنتقل بسرعة الضوء، فحتى

الماء يعمل على إبطاء الضوء، ويمكنكم التأكد من هذا بأنفسكم باستخدام عملة معدنية وكوب كبير.

ضعوا العملة مسطحة في قعر الكوب بحيث تلامس الجانب الأقرب لكم، ثم انحنوا للأسفل إلى أن يخفي طرف الكوب مشاهدة العملة عنكم. ينتقل الضوء بخطوط مستقيمة، وفي هذه الحالة لا يوجد خط مستقيم يمكنه أن يصل من العملة إلى عيونكم. والآن املؤوا الكوب بالماء مع عدم تحريككم رأسكم أو الكوب، ستظهر العملة بالرغم من أنها لم تتحرك، لكن الضوء الصادر منها غيّر اتجاهه لحظة تحرره من الماء، حيث يمكنه الوصول إلى أعينكم. هذا برهان غير مباشر على أن الماء يبطئ الضوء. وعلى إثر ملاقاة الضوء للهواء، تزداد سرعته مرة أخرى فتنحني الموجة بزاوية لحظة عبورها السطح الفاصل بين الماء والهواء، ونسمي هذا انكسارًا. ليس الماء وحده الذي يفعل ذلك؛ فكلّ ما يمر عبره الضوء يعمل على إبطائه، لكن بكميات متباينة. والمقصود بـ «سرعة الضوء» سرعته في الفراغ، أي عند انتقال الضوء عبر اللاشيء (العدم). يبطئ الماء الضوء بنسبة ٧٥ بالمئة من تلك السرعة، أما الزجاج فبنسبة ٦٦ بالمئة، ويتحرك الضوء في الألماس ببطء ليبلغ ٤١ بالمئة من سرعته القصوى، وكلما زاد من إبطاء سرعته كبر الانحناء عند السطح لحظة الالتقاء مع الهواء. لهذا السبب يلمع الألماس أكثر من غيره من أغلب الأحجار الكريمة؛ لأنها تقلل من سرعة الضوء أكثر من غيرها . والانحناء هو السبب الوحيد الذي يمكننا من رؤية الزجاج أو الماء أو الألماس على وجه الحقيقة، فالمعدن بذاته شفاف، ولذلك لا نراه رؤية مباشرة. ما نراه أن ثمة شيئًا مفقودًا بقدوم الضوء من خلفه، ونترجم هذا الشيء بوصفه جسمًا شفافًا.

رؤية الألماس من الأمور اللطيفة (ويبعث هذا على الارتياح لأي شخص دفع ثمنها مرغمًا)، لكن الانكسار لا يدور حول الجماليات فقط. يمنحنا الانكسار عدسات تفتح الأبواب الموصدة على جزء كبير من العلم؛ علم المجهريات لاكتشاف الجراثيم والخلايا التي صُنِعْنَا منها، كما تزودنا بالتلسكوبات لاكتشاف أرجاء الكون، وتمنحنا كذلك الكاميرات لإدامة تسجيل التفاصيل، ولو انتقلت موجات الضوء دائمًا بسرعة الضوء لما تحصّلت لدينا كل هذه الأشياء. نعيش وكأننا مغمورون بموجات الضوء التي ما تنفك تنعكس وتنكسر وتصبح بطيئة وتمسي سريعة عند انتقالها. وعلى غرار سطح المحيط العاصف، تنتقل موجات الضوء المتداخلة وبمختلف الأحجام نحو كل اتجاه ممكن من حولنا. لكن عيوننا

تتحكم برؤية جزء ضئيل من ذلك الضوء لكي نتمكن من الإحساس به وإدراكه، وذلك من خلال الانتقاء والانكسار وتمييز بعض الأمواج والاحتفاظ بها، وإبطاء سرعة بعضها الآخر أيضًا. ظلت ملكة هاواي واقفة على الحافة الجبلية تشاهد أمواج المياه باستخدام موجات الضوء، والفيزياء ذاتها تنطبق على الاثنين.

لا بأس بهذا في حالة وصول بعض الموجات لكم لرؤيتها بعد انعكاسها وانكسارها. لكن ماذا لو لم تصل إليكم على الإطلاق؟

إحدى غرائب الحياة الصغيرة أننا إذا منحنا طفلًا طباشير ملونة، وقلنا له ارسم الماء النازل من الحنفية فسيرسمه بالأزرق. لكن لم يرَ أحد في حياته ماءً أزرق يأتي من الحنفية، ماء الحنفية لا لون له (إذا كان لماء الصنبور في بيتكم لون فأنصحكم باستدعاء السبّاك فورًا). إذا رأيتم ماءً أزرق ينزل من الحنفية فقطعًا لن تشربوه. غير أن الماء في الصور دائمًا أزرق!

تُظهِر صور الأقمار الصناعية للأرض المحيطات بلون أزرق حتمًا، وهذا ليس بسبب الملح، فثمة برك مائية مكونة من ماء ذائب وخالية من الملح على قمم الكتل الجليدية، وهي تبدو كذلك زرقاء خلابة تسر الناظرين، فتكاد تظهر كما لو أن أحدًا ملأ جيوبًا في كتل الثلج بالملونات الغذائية الزرقاء في الطعام. لكن يبقى الماء بلا لون مهما رشح على الجليد ليمتزج مع بقية الماء المذاب. وما يمثّل أهمية للون، ليس ما في الماء، بل كمية الماء التي بحوزتنا.

تكون أمام موجات الضوء التي تسقط على سطح الماء إحدى حالتين، فإما أن تنعكس لترتد عاليًا نحو السماء أو تمر مخترقة طريقها لتعبر نحو الأعماق، لكن أحيانًا يتصرف جسيم صغير أو حتى الماء ذاته كعائق، فيحرف الموجة عن طريقها نحو اتجاه جديد، وقد تحدث هذه العملية من إعادة التوجيه لموجة الضوء عددًا من المرات تكفي لجعلها تعود مرة أخرى إلى الجو في نهاية المطاف، ويعمل الماء على مدار تلك الرحلة على تنقية الضوء وتصفيته. إن الضوء الصادر من الشمس مزيج من أطوال موجية مختلفة وكثيرة، جميع ألوان الطيف (قوس قزح)، لكن بإمكان الماء امتصاص الضوء، وهو يمتص بعضًا من الألوان أكثر من غيرها، فأول الألوان التي يتعامل معها الماء الضوء الأحمر؛ يتخلص الماء من معظمه إذا تجاوز لبضعة أمتار قليلة، ثم يأتي اللونان الأصفر والأخضر بعد بضع عشرات من الأمتار، أما الضوء الأزرق فيصعب كثيرًا امتصاصه؛ لأنه بإمكانه الانتقال لمسافات شاسعة، لذا فإنه مع انطلاق الضوء في طريقه للمحيط، لا يبقى

منه سوى الأزرق. ويكمن السبب في انعدام اللون من ماء الحنفية أنه لا توجد كمية كافية من الماء لإحداث فارق اللون، على أن ماء الحنفية له لون فعلًا؛ ألا وهو اللون ذاته الذي يوجد في كل مياه العالم، لكنه لون خافت كثيرًا إلى درجة أننا نحتاج إلى كميات هائلة ومجتمعة من المياه لكي نلاحظ التأثير الذي يطرأ على الماء وأمواجه التي تتحرك فيه . وعندما نراه فعلًا فهو خلاب، والطبشورة الزرقاء البرّاقة هي الخيار الصحيح، لكننا لم نكن لنعلم ذلك من حنفية.

وهكذا، فإن الموجات تنتقل ويمكن لأي شيء تمر من خلاله أن يمتصها. إنها بمنزلة عملية استنزاف بطيئة للغاية، ونفاد لطاقة الموجات الضئيلة جدًا وتهريبها واحدة إثر الأخرى، وتعتمد الكمية المفقودة على نوع الموجة وعلى طولها الموجي كذلك. وتعني كل هذه القابلية للتغيير أن ثمة ثراءً هائلًا فيما تعمله الموجات، وما يمكن أن تكشفه لنا. بإمكاننا أن نرى ونسمع بعضًا من الفروقات في إحدى الظواهر التي أفضّلها: العاصفة الرعدية.

إن العاصفة الرعدية من المناظر العظيمة التي تذكرنا بوقعها الشديد أن الهواء هو أبعد ما يكون عن مجرد مادة غير مرئية لِمَلْء السماء. يحتوي غلافنا الجوي على كميات هائلة من الماء والطاقة، وعادة ما تنتقل هذه السلع وتتحرك ببطء وهدوء. تنشأ السحابة الرعدية المتكوّنة من سحب متراكمة كثيفة لإعادة توازن الغلاف الجوي عندما يصبح التحول الهادئ غير كاف، فيبدأ نظام السحابة الرعدية عندما يندفع هواء رطب ودافئ يطفو قرب الأرض عاليًا نحو الهواء الأبرد فوقه، حاملًا معه كميات ضخمة من الطاقة، يصعد بسرعة في وسط السحابة الشاسعة هواء رطب وساخن فيحرّك الغلاف الجوي من فوقه، ويُطلق قطرات مطر ضخمة. أما أشد عملية من بين كل ذلك فتبرز بتسبب ذلك التحريك العنيف بتكوين شحنات كهربائية تنفصل ويعاد توزيعها نحو الأجزاء المختلفة من السحب. تتراكم الشحنات إلى أن تُحقن السحب المتجاورة أو الأرض ذاتها بذبذبات عملاقة من التيار الكهربائي مع إبعادها للشحنة الكهربائية الفائضة. لا تدوم كل صاعقة برق سوى أقل من أجزاء من الثانية، لكن صوت الرعد وصداه حول السحابة يستمر لمدة أطول. أعشقُ الرعد والبرق بسبب المنظر المؤثر الذي يحدثانه في النفوس، وكذلك لِلَّمحة التي يقدمانها في سبر أغوار ذلك المحرك الجوي. وتنتج العواصف الرعدية مثل هذه المتضادات غير المحتملة؛ وميض البرق الخاطف

والحاد كنقيض لهدير الرعد المطوّل والعميق، لكنهما يشكّلان معًا نموذجين جميلين لتعددية وظائف الموجات ونشاطاتها.
صاعق البرق مؤقت، والرابطة الكهربائية إنما تتجلى في أنبوب فائق السخونة من الغلاف الجوي يمتد من السحابة الرعدية وصولًا إلى الأرض أو ربما إلى سحابة أخرى. فهي كالرواق المليء بالجزيئات التي فجّرتها الطاقة والتي مرّت من خلالها بسرعة، قد تصل درجة الحرارة في ذلك الأنبوب للحظة وجيزة إلى ٥٠,٠٠٠ درجة مئوية، ولذلك نراه يستعر بلون أبيض مُزرق، وتنطلق النبضة العملاقة من موجات الضوء لتخرج بسرعة من الأنبوب ولتملأ المشهد، لكنها تنطلق للخروج بسرعة هائلة بحيث إنها تختفي بلحظة قصيرة جدًا. يتمدد الأنبوب فائق السخونة من الجانبين، حاملًا التيار الكهربائي من الجانبين أيضًا، ويندفع في الهواء المحيط به، وتتحرك نبضة الضغط الضخمة حركة متموجة لتخرج من بين الهواء لاحقةً الضوء، لكن بسرعة أبطأ بكثير. تلك هي موجات الصوت، وذلك هو الرعد. ونعلم يقينًا أن سبب وجود صواعق البرق إنما يكمن في أنها تصنع موجات ضوء وصوت معًا.
أهم ما يميّز الموجة أنها طريقة للسماح للطاقة بالحركة، لكن من دون تحريك الهواء أو الماء، أي «جسم» من أي نوع، وهذا يعني أن الموجات يمكن لها أن تمور وتضطرب عبر عالمنا بسهولة، لتحدث اضطرابًا للأجسام يكفي لجعلها نافعة ومثيرة للاهتمام، لكن ليس إلى حد إحداث الاختلال بعالمنا والتسبب بعرقلته. تحرّرُ ضربة البرق طاقةً كثيرة، وموجات الصوت والضوء قادرة على حمل جزء من تلك الطاقة إلى بقية العالم وتوزيعها عليه. وبالرغم من عدم ذهاب الهواء لأي مكان إجمالًا مع مرور موجات الصوت، إلا أن كميات كبيرة من الطاقة قد انتقلت نحو الداخل. إن الضوء والصوت نوعان مختلفان من الموجات، لكن المبادئ الفيزيائية ذاتها تنطبق عليهما معًا. فعلى سبيل المثال: يمكن للبيئة أن تغيّر الضوء والصوت اللذين يعبران من خلالها. وفي حالة الرعد، بمقدورنا أن نسمع مباشرة ما يحصل للموجات.
أفضّل أن أكون موجودًا في مكان يبعد ميلًا تقريبًا عن صاعقة البرق، وحين يطلق الوميض إشارته بأن الصوت قادم في طريقه، أحبُّ أن أتخيّل انتشار تموج ضغط عملاق نحوي. يمكنني النظر من خلال الحركة المتموجة عند تطلعي نحو المنظر، لكن يستغرق الوقت بضع ثوان كي يصلني أول صوت رعد هادر. تنتقل

الموجات الصوتية بسرعة تقترب من ٣٤٠ متر في الثانية أو ٧٦٧ ميل في الثانية؛ ما يعني أنها تستغرق ٤,٧ ثانية لتقطع مسافة ميل واحد. ويماثل هذا الصوت الحاد الصوت الأصلي الصادر من توسّع صاعق البرق نحو الأرض مباشرةً. لكن إليكم ما يجعل صوت الرعد شديد التميّز: ما أسمعه بُعيد انطلاق الصوت الحاد الابتدائي هو صوت صادر من أعلى صاعق البرق بقليل، بدأ كالصوت الأصلي، لكنه أخذ وقتًا أطول لكي يصل إليّ لأنه انتقل بمسار ينطوي على إمالات، ممّا جعله أطول، ومن ثم أسمع مع هدير الرعد الصوت الصادر من أعلى صاعق البرق المذكور آنفًا. إذا استغرق من الصوت الحاد الأول للرعد مدة خمس ثوان ليصلني، فسيستغرق ثانيتين إضافيتين قبل أن يضرب بقربي الصوت الأعلى الذي يبعد ميلًا زيادة، وأربع ثوان أخرى قبل أن يصل الصوت الذي على بعد ميلين فوقه. كل هذه الموجات الصوتية تَشابَه انطلاقها تقريبًا وإن اختلفت أماكنها. ويعني هذا أنه على إثر إنصاتي لتلك الأصوات، صار بوسعي سماع كيفية تغيير الغلاف الجوي لتلك الموجات. ومع مضي الوقت، ما من اختلاف يُذكر سوى انتقالها لمسافة أبعد، وبالتالي تختفي الأصوات الأكثر حدّة بسرعة، كأول الأصوات الهادرة التي سمعتها، على إثر امتصاص الغلاف الجوي للموجات ذات التردد العالي، لكن الموجات ذات التردد المنخفض لا تكف عن الهدير. ومع مضي الوقت، تنتقل الموجات لمسافات أبعد فأبعد، وتقل حدة الصوت الإجمالية أكثر فأكثر، لأن الدرجات الصوتية العليا قد استنفدها الهواء، أما الدرجات الصوتية الأدنى فمتواصلة، سيأخذها الهواء كلها ولن يصلنا من الصوت شيء إذا كنا بعيدين عنها بما يكفي، لكن مدى البرق أكبر بكثير، إذ تختلف موجات الضوء تلك لأنها لا تعتمد على الهواء عند انتقالها وتحركها، ولا يمتصها الهواء بسهولة، بل تُستبدَل بطرق أخرى مع انطلاقها السريع عبر العالم.

الموجات، إلى حد ما بسيطة جدًا، فهي دائمة الانتقال في طريقها لمكان آخر فور أن تتشكّل، ويمكن لها أن تنعكس أو تنكسر أو تُمتص من خلال بيئاتها، سواء أكانت موجات صوت أم موجات محيط أم موجات ضوء. نمارس حياتنا وسط هذا الفيض المعقّد من الموجات، ونشعر بأنماط من تلك الموجات تمنحنا علامات ودلائل على ما يحيط من حولنا. وتمسي عيوننا وآذاننا حسّاسة نحو الشعور بالاهتزازات التي تحدث من حولنا، وتحمل تلك الاهتزازات منفعتين مهمّتين: الطاقة والمعلومات.

***

يظهر الخبز المحمص في يوم شتوي بارد وكالح كغذاء ممتاز ومريح، إلا أن المشكلة أن متعته غير فورية. من عادتي أن أجهز الغلاية لإعداد الشاي ثم أضع خبزًا في المحمصة الكهربائية، ومن ثم أمشي في المطبخ بفارغ الصبر وأنا أنتظر أن يجهز طعامي. غالبًا ما أجد نفسي أحملق بالمحمصة وبما ستفعله بعد غسلي كوبًا أو كوبين وترتيبي لسطح الطاولة. الشيء اللطيف في المحمصات الكهربائية أننا نرى ما تفعله لأن عناصر التسخين تتوهج باللون الأحمر. إنها لا تكتفي بتسخين الهواء الذي يلمسها، بل تشع كذلك طاقة ضوئية، وهذا الوهج إنما هو بمنزلة ترمومتر داخلي، وبمقدورنا أن نعرف مدى حرارة عنصر التسخين في المحمصة بمحض ملاحظة لونه، فاللون الأحمر البرّاق يشير إلى أن المحمصة وصلت درجة حرارتها إلى ١٠٠٠ درجة مئوية، وهذا ساخن إلى حد مرعب، ويكفي لإذابة الألمنيوم أو الفضة. لكنها إذا كانت تتوهج بذلك اللون الأحمر القاني البراق، فدرجة ١٠٠٠ مئوية هو مدى الحرارة الذي وصلت إليه، وهذه قاعدة تنبع من طريقة عمل الكون الذي نعيش فيه. فكل شيء تصل حرارته إلى هذه الدرجة سيتوهج باللون الأحمر نفسه، فيما تشير الألوان الأخرى إلى درجات حرارة مختلفة. إذا نظرنا في نار الفحم ورأينا الفحم الداخلي يتوهج بلون أصفر براق، نعلم أنه وصل لدرجة حرارة تقرب من ٢٧٠٠ مئوية. أما الشيء الذي يصبح حاميًا لدرجة الابيضاض فدرجة حرارته ٤٠٠٠ مئوية أو أكثر. لكننا عندما نتأمل في ذلك فسنراه غريبًا. لماذا يتحتم على اللون أن تكون له علاقة بدرجة الحرارة؟

بينما أحملق في المحمصة الكهربائية، أشاهد الطاقة تتحول من حرارة إلى ضوء. إن من أكثر الأمور أناقة في طريقة عمل الكون أنّ أي جسم ترتفع درجة حرارته فوق الصفر المطلق يحوّل بانتظام بعضًا من طاقته إلى موجات ضوئية، والضوء لا بد أن ينتقل، فتختلط الطاقة بسرعة بما يحيط بها. يحوّل عنصر التسخين أحمر اللون بعضًا من طاقته إلى موجات الضوء الأحمر ذي الطول الموجي الطويل في نهاية طيف الألوان (قوس قزح)، لكن معظم الطاقة التي تصدر منه لها أطوال موجية أكثر طولًا من ذلك، ونسمّي هذه الموجات «الأشعة تحت الحمراء» . لا تختلف الأشعة تحت الحمراء عن الضوء الذي نراه سوى أن كل موجة من موجاتها تتسم بأنها أطول. ليس بمقدورنا سوى استكشافها بطريقة غير مباشرة وذلك من خلال الشعور بدفء المكان الذي امتُصّت منه، مع أننا لا نستطيع رؤية موجات

الأشعة تحت الحمراء إلا أنها أساسية للمحمصة الكهربائية، فهي التي تسخّن الخبز المحمص.

تُصدر الأجسام الساخنة ضوءًا أكثر لبعض الأطوال الموجية من غيرها. وعند كل درجة حرارة يوجد أقصى طول موجي يكون مسؤولًا عن معظم الضوء، ويخفت الضوء المشع على أي جانب من جوانب ذلك الطول الموجي. تخرِج المحمصة الكهربائية كمية كبيرة من الأشعة تحت الحمراء، وفي مؤخرتها تظهر الأشعة الحمراء المرئية، وبالتالي أرى لونًا أحمر. لا أستطيع رؤية الضوء الذي يسخّن خبزتي لكن بمقدوري أن أرى مؤخرة أطوال موجية أطْوَل.

لو كان بحوزتي محمصة كهربائية خارقة تصل لدرجات حرارة أكبر، ربما حتى ٢٥٠٠ درجة مئوية، سيظهر عنصر التسخين باللون الأصفر. ذلك لأن الجسم الأسخن قد يرسل ضوءًا بأطوال موجية أقصر، مما يجعل الذيل المرئي يشتمل على أطياف أكثر من قوس قزح: كالأحمر والبرتقالي والأصفر والقليل من الأخضر. عندما نرى الأحمر والأخضر معًا نترجم حاصلهما إلى اللون الأصفر، والشيء الذي له درجة حرارة كهذه هو فقط القادر على إخراج هذا المقطع من ألوان قوس قزح. وإذا زادت درجة الحرارة إلى ما هو أكثر من ذلك – كأن تتوفر بحوزتي محمصة كهربائية مفرطة القوة وقادرة على الوصول إلى درجة حرارة ٤٠٠٠ مئوية – فإن الضوء الذي ستخرجه سيشتمل على ألوان قوس قزح كلّها وصولًا إلى اللون الأزرق. وعندما نرى كل ألوان قوس قزح دفعة واحدة فإننا نرى الأبيض، وبالتالي فإن الشيء ذا الحرارة الحامية حتى درجة الابيضاض يخرج ألوان قوس قزح لكنها ألوان مختلطة ببعضها. أما العيب الذي يكتنف المحمصة المفرطة في القوة فهو أنها ستذيب ما هي مصنوعة منه، مما يعني أنها ستحمص الخبزة لتكسبها لونًا أسمر بسرعة كبيرة، لكنْ ربما تحرق المطبخ برمته ليصبح أسمر اللون كذلك!

إذن المحمصة الكهربائية ما هي إلا وسيلة لصنع الموجات، والضوء الأحمر الذي نراه ليس سوى بعض من الموجات التي صنعتها بسبب درجة حرارتها، والأشعة تحت الحمراء التي لا نراها هي التي تسخّن خبزنا، لهذا السبب لا تصبح الخبزة المحمصة سمراء اللون إلا على سطحها؛ إنها الأجزاء التي يلمسها الضوء فقط، والتي تمتص الأشعة تحت الحمراء فيسخنها. يكمن السر في حَمْلَقَتِي بسرور بالمحمصة الكهربائية وأنا أنتظرها لتنتهي من تحميص الخبزة في كَوْني أتخيل

كل الضوء الذي يخرج منها وأراه، فأنا متيقنة أنه هناك، لأن الوهج الأحمر إفشاء لما يخفى على العين.

لكن بطبيعة الحال ثمة عائق صغير؛ المشكلة التي تعتري هذا الأسلوب بتوليد موجات الضوء تتجسد في حصولنا دائمًا على المجموعة ذاتها من حزمة الموجات، وما من طريقة لاختيار بعض منها دون الآخر، فحرارة الفحم برتقالية اللون والفولاذ المصهور وأي مادة أخرى تصل حرارتها إلى ١٥٠٠ درجة لا بد أن تشع المجموعة ذاتها من الألوان كلها دفعة واحدة، فيمكن بالتالي قياس درجة حرارة المادة من خلال لونها وذلك عندما تصبح حرارتها كافية لرؤية الألوان. تصل درجة حرارة سطح الشمس إلى ٥٥٠٠ درجة مئوية، وهذا يفسر ما تعطينا إياه من الضوء الأبيض. والحقيقة أن هذا هو السبب الذي يجعلنا نرى النجوم في السماء ليلًا؛ فهي من السخونة الشديدة بحيث إن الضوء يجب أن ينبثق من سطوحها وعبر الكون، ويكون ضوءًا بلون محدد يدل دلالة بائنة على درجة حرارتها.

ونحن (أنتم وأنا) نمتلك بدورنا ألوانًا بسبب درجات حراراتنا، ليس لونًا نستطيع أن نراه، لكنه مرئي في كاميرات خاصة مهيئة للنوع السليم من الأشعة تحت الحمراء. إننا أبرد بكثير من المحمصة الكهربائية، غير أننا ما نزال نتوهج، فنحن نبث موجات ضوء بأطوال موجية أطول غالبًا بـ١٠ إلى ٢٠ ضعفًا من الضوء المرئي. كل شخص منّا مثل مصباح الأشعة تحت الحمراء بسبب درجات حرارة أجسامنا، وهذا الحال ينطبق على الكلاب والقطط والكنغر وفرس النهر – أي جميع الثَّدييّات ذوات الدم الحار. كل ما تفوق حرارته الصفر المطلق (درجة الحرارة المثيرة للخوف ٢٧٣ مئوية تحت الصفر) هو بحد ذاته كمصباح بألوان تتراوح أطوالها الموجية من الأشعة تحت الحمراء إلى أطوال موجية أطول (نطاق الموجة الميكروية) كلما بردت درجة حرارتها.

إذن فنحن نعيش منغمسين بالموجات، ليس فقط تلك التي نراها، بل الموجات التي تستحوذ على عيوننا إذا نظرنا في الاتجاه الصحيح. تصنع الشمس وأجسامنا والعالم من حولنا وكذلك التقنيات التي نبتكرها موجات الضوء بانتظام، والأمر ذاته ينطبق على موجات الصوت – درجة الصوت العليا ودرجة الصوت المنخفضة والموجة فوق الصوتية التي يستخدمها الوطواط للصيد والموجة تحت الصوتية التي يستخدمها الفيل لمتابعة الطقس. ما يثير الدهشة أن كل هذه الموجات يمكن أن تنتقل عبر الغرفة من دون أن تتداخل مع بعضها، فموجات الصوت لا

تتغير سواء أكانت الغرفة مظلمة تمامًا أم مليئة بأضواء الديسكو، ولا تتأثر موجات الضوء بحفلات البيانو الموسيقية أو الأطفال الذين يبكون. سنستثمر كل هذا ونوظّفه لصالحنا عندما نفتح أعيننا ونسمع بآذاننا. إننا كَمَن يختلس بعضًا من النقاط المفيدة من بين الفيضان، لننتقي منه الموجات التي ترسل أكثر المعلومات إفادة.

لكن أيًّا منها ستختارون؟ ستختلف الإجابة بالنسبة إلى سيارات القيادة الذاتية الحديثة عنها بالنسبة إلى حيوان يسعى للعيش في الغابة. ثمة ثراء كبير في المعلومات هناك، ويمكننا الانتقاء والاختيار من بين الموجات التي تعيننا أكثر في هذا الجانب من الحياة أو ذاك، لهذا السبب لا تكاد الحيتان الزرقاء والدلافين ذات الأنف القاروري تسمع بعضها، ولهذا السبب أيضًا نرى أن كُلًّا من الحيتان والدلافين لا تكترث بلون بدلات الغطس التي نرتديها.

***

يمتد خليج كاليفورنيا على طول الساحل الغربي لجمهورية المكسيك، وهو لسان ضيق من اليابسة في المحيط على طول ٧٠٠ ميل، ويطلّ على المحيط الهادئ من طرفه الجنوبي. وتحمي الماء الأزرق للقناة قممٌ جبليةٌ متعرجةٌ مرتفعةٌ على ضفتي الشاطئ، وتهاجر الكائنات البحرية لمسافات شاسعة عبر المحيطات لتصل إلى هذه البقعة من أجل الاستمتاع بالغذاء والراحة. ويستطيع أي صائد سمك أن يتنعّم بهذه الظروف الوادعة والمسالمة بمجيئه وذهابه بقارب صغير في وسط القناة، وما تعنيه تلك الظروف أن طوفان الموجات التي يتعرّض لها الصائد ليست مؤثرة وغير معقّدة نسبيًا. يتدفق الضوء من الشمس في أثناء النهار ولا يعكسه سوى المياه الزرقاء والصخور الناعمة، أما موجات الصوت فلا تصدر إلا من تلاطم الموجات وأصوات القارب. يثب دلفين من الماء إلى جزء من هذا العالم الهادئ خارج الماء، ثم يعود للماء مرة أخرى؛ لعالم مختلف كليًا، لا هدوء فيه قطعًا، إذ يتجلى بكل فاعلية في أعماق البحر نظام بيئي نشط فيه صخب واضطراب واهتياج.

يطلق الدلفين صفيرًا حاد الصوت مع غوصه نحو الأعماق ليتواصل مع بقية مجموعات الدلافين الذين يتبعونه، فتمتلئ المياه مع اقترابهم منه بأصوات «طقطقة» و«قرقعة» ذات موجات حادة وقصيرة تصدر من جبهة كل دلفين وترتد في محيطه، وتنتقل تلك «الطقطقات» و«القرقعات» التي يستقبلها الدلفين

الأول من فكه السفلي نحو أذنه، وهكذا يكوّن كل دلفين صورة صوتية عما هو قريب منه وما في جواره، وصوت كل هذا الصفير والصرير والطقطقة يجعل المحيط كالشارع المزدحم، فهي موجات صوت لمجتمع يعجّ بالحركة. بعد قضاء مجموعات الدلافين لفترة على السطح وهي تتنفس وتلعب، تعود إلى الأعماق نحو الزرقة الغامقة العميقة لأداء مهمة حيوية؛ ألا وهي الصيد. تصبح موجات الضوء المألوفة والمنتشرة فوق السطح أقل انتشارًا ووجودًا هنا في العمق، إذ يمتص الماء موجات الضوء بسرعة كبيرة، فتشحّ بذلك المعلومات من الضوء. تمتلك الدلافين عيونًا تتكيّف مع الوضع فوق الماء وأسفله معًا، لكن مقياس الاستفادة من الضوء بالنسبة إليها يخضع إلى كيفية تطور تلك العين، فلا تمتلك عيون الدلافين أية قدرة على تمييز الألوان إطلاقًا، ولمَ تحتاجها أصلًا ولا يكاد يوجد أي تنوع للألوان في عالمها؟ عالمها ينحو نحو اللون الأزرق، لكنها لا ولن تعلم ذلك أبدًا. لا تستطيع الدلافين رؤية اللون الأزرق، ولهذا يظهر عالمها المائي بلون أسود، لكن بمقدورها رؤية سطوع سمكة فضية براقة تمر في الماء، وبذلك ترى ما هي بحاجة إلى رؤيته.

يشبه سطح المحيط مرآة آليس في بلاد العجائب، إذ يفصل بين عالمين مختلفين يسهل العبور بينهما. تنحو الموجات للارتداد من السطح الفاصل، فيرتد [أو ينعكس] الصوت من الهواء إلى الهواء، والصوت الصادر من المحيط يبقى في المحيط. ينتقل الضوء في الهواء بسهولة كبيرة، وينتقل الصوت فيه بطريقة حسنة إلى حد معقول. أما في المحيط، فتُمتص موجات الضوء بسرعة كبيرة، لكن موجات الصوت تعبر بسرعة وكفاءة عاليتين. يتعيّن على كل من يريد أن يعرف بيئته في المحيط أن يتحقق من موجات الصوت ويدرسها بعناية. أما موجات الضوء فغالبًا ما لا يكون لها استخدام أو نفع كثير، إلا إذا كنا ننظر إلى شيء قريب جدًا منّا، وقريب من السطح أيضًا.

لكن ثمة إضافات أخرى لعالم الأصوات في الأعماق، تستخدم الدلافين الأصوات عالية الحدة، بعضها بأطوال موجية أقصر بعشرة أضعاف من أي شيء قد نسمعه، وتعني هذه الأطوال الموجية القصيرة أن آلية رصدها للصدى قادرة على التقاط أدق تفاصيل شكل ما هو أمامها، لكن الأصوات عالية الحدة لا تنتقل إلى مسافات بعيدة، فمجموعات الدلافين الصاخبة لا يمكن سماعها من الضفة الأخرى من القناة (لخليج كاليفورنيا). لكن علاوة على ثرثرة الدلافين، ثمة أصوات أخرى تنتقل

لمسافات أبعد، فهناك صوت أزيز عميق لسفينة بعيدة، وصوت فقاعات من تناثر رذاذ الماء على السطح، وصوت أشبه بفرقعة فشار لقريدس يظهر فجأة، ثم صوت أنين عميق ومنخفض إلى حد أن الدلافين لا تسمعه. قد يتكرر الأنين، وينادي حوت على بعد عشرة أميال، ويتردد صداه في القناة، لكن الحوت لا يستخدم نظام رصد الصدى، فلا يحتاج تبعًا لذلك لموجة عالية الحدة، غير أنه يحتاج للصوت لكي يرتحل لمسافة طويلة، وهذا يعني أنه سيستخدم طبقة صوت منخفضة (طول موجي طويل). يمكن أن ينتقل الصوت بالطول الموجي الطويل لمسافات شاسعة، وعلى حوت البالين من بين الحيتان الأخرى؛ وهي حيتان من نوع المِنك ولها زعانف ولونها أزرق، أن يتواصل على مدى مسافات شاسعة. لا يسمع الحوت طقطقة الدلافين التي لا تسمع أغنية الحوت، لكن الماء يحمل بين أمواجه كل ذلك، فيض هائل من المعلومات التي تضبط كل كائنات البحر نغماتها وفقًا له.

إذن يتمتع المحيط بفيض من موجات الضوء وموجات الصوت، ولكن بطريقة تختلف عمّا هو سائد في الهواء. فالصوت هو المتربع على عرش الهيمنة في الأعماق، والحيتان والدلافين مصابة بعمى الألوان لأن تفاصيل موجات الضوء لا تهمها البتة.

بيد أن ثمة بعضًا من أوجه الشبه بين الغلاف الجوي والمحيط، إذ ينتقل أطول طول موجي للصوت لأبعد المسافات تحت الماء، وينتقل أطول طول موجي للضوء لمسافات أبعد في الهواء. أدرك البشر أيضًا قبل ما يربو على قرن مضى كيفية التواصل عبر آلاف الأميال، ولأننا نعيش في الهواء، فإننا لا نمارس ذلك باستخدام موجات الصوت، بل تستفيد اتصالاتنا طويلة المدى من موجات الضوء. عندما تحوز موجات الضوء على طول موجي طويل، نطلق عليها موجات راديو. وتمثلت إحدى أقدم استخدامات هذه التقنية وأهمها بإرسال معلومات عبر المحيطات. لم تكن سفينة تيتانيك لتغرق لو أن طاقمها أدرك المعلومات المشمولة في هذه الأنظمة الجديدة للاتصالات.

خرجت بُعيد منتصف ليلة اليوم الخامس عشر من أبريل/نيسان سنة ١٩١٢ نبضات دائرية من موجات راديو متتابعة من عدد محدود من المواقع، لا تتجاوز أصابع اليد الواحدة في شمال المحيط الأطلسي، أخذت تلك الأنماط الموجية بالبدء والتوقف بشكل متقطّع، وظل كل نمط من هذه الأنماط يخبو ويخفت مع انتقال الموجات وابتعادها عن مصدرها، وصلت بعض من هذه التتابعات والتموجات

إلى مواقع كانت تبث هذا البث وترسله وتكرره على مراحل. أما أقوى هذه التتابعات الموجية فجاء من موقع يبعد ٤٠٠ ميل عن منطقة نيوفاوندلاند في كندا، حيث كان جاك فيليبس يستعمل أحد أقوى أجهزة الإرسال اللاسلكية البحرية طلبًا للنجدة، وكانت السفينة التجارية الملكية تيتانيك تغرق. عمل جاك من موقعه على متن قارب نجاة في أعلى السفينة؛ على إرسال نبضات كهربائية قصيرة إلى الهوائي الممتد بين مداخن السفينة. أرسلت الذبذبات في السلك الهوائي عدة دفقات مستعجلة من موجات الراديو من السفينة، وتمكن مشغلو أجهزة اللاسلكي في السفن الأخرى من فك شيفرة النمط وفهم الرسالة.

تعمل أجهزة اللاسلكي فقط لأن موجات الراديو لا تنتقل باتجاه واحد، بل تتموج وتتتابع في جميع الاتجاهات. من يرسلها لا يهمه معرفة الموقع الدقيق للشخص الذي يستمع إليها، فبإمكان أناس كثيرين الاستماع للموجة نفسها، وقد أمكن تلقي النبضات التي أرسلتها تيتانيك في سفن «كارباثيا» و«بالتيك» و«أوليمبيك» وعدد من السفن الأخرى القريبة ضمن مسافة بضع مئات من الأميال. قد تكون المعلومات التي بُثّت محدودة والوسائل غير متقنة الصنع، لكن حدث لأول مرة في تاريخ البشرية أن أتيح إجراء تخاطب عبر المحيط، وقد غيّر وصول تقنية اللاسلكي من طريقة الملاحة البحرية إلى الأبد. قبل عشرين سنة من ذلك التاريخ، كانت سفينة تيتانيك ستتلاشى تحت الماء من دون أن يعلم أحد بذلك، وسيستغرق حينها مدة أسبوع أو نحوه لإدراك اختفائها، ولم ترسل أولى الإشارات اللاسلكية إلا قبل ذلك بعشر سنين. لكن في تلك الليلة المأساوية، ارتبطت السفن القريبة عبر تتابعات الموجات وسط الظلام لتهرع للموقع عند وقوع الحادثة، لم تكن الذبذبات المتقطعة عشوائية، بل جاء تتابع الموجات بأنماط منتظمة، ونقل كل نمط رسالة بعثها إنسان لكي تُبث لمسافات شاسعة من المحيط بسرعة الضوء، وهو ما مثل ثورة عظمى في الاتصالات البشرية، وتلك كانت الصرخة المدوّية التي أطلقت إشارة البدء الحقيقية لعصر اللاسلكي.

من الأسباب التي تفسر شهرة احتضار سفينة تيتانيك وذيوعها أنها وقعت على مشارف هذا العصر الجديد، إذ أبرزت الإمكانيات الهائلة لموجات الراديو اللاسلكية، حيث وصلت السفينة كاباراثيا بعد ساعتين من غرق تيتانيك، وهو وقت مناسب لإنقاذ أرواح كثيرة، لكنه أظهر أيضًا أن نظام اللاسلكي آنذاك كان أوليًا ومبكرًا وليس له فائدة كبيرة، فقد عاب البطء إرسال الرسائل، وتاهت بعض

التحذيرات التي تلقتها تيتانيك من خطورة الجبال الجليدية وسط كم كبير من الرسائل العامة أو التافهة. وما يفوق ذلك أهميةً أن استخدام الدفقات الخام للموجات كان يعني أن الإشارات اللاسلكية قد تتشابك وتتداخل بسهولة، فمن الذي يتحدث ومن الذي يسمع؟ وقد لا تُسمع الرسائل بأكملها أو لا تسمع مطلقًا. ولاستخدام الموجات بغرض إرسال المعلومات، يتحتم تغييرها بطريقة أو بأخرى لكي يرى المستقبِل نمطًا معينًا، لكن كل ما توفر لتلك السفن زر للتشغيل وآخر للغلق؛ أي أن ذلك يعني دفقًا لموجات الراديو أو لا شيء، ولم يتوفر حين ذلك سوى قناة واحدة اضطر جميعهم لمشاركتها.

ليست موجات الراديو وحدها هي التي كانت تحلق فوق المحيط في تلك الليلة، إذ أرسلت تيتانيك شعلات استغاثة، وحاولت سفينة كاليفورنيان القريبة الاتصال بها باستخدام شفرة مورس من خلال مصابيح الإضاءة، حيث أرسلت إشارات ضوئية مرئية، لكن موجات الراديو قادرة على الوصول لمسافات أبعد بكثير نظرًا لخاصية الانعطاف الحاد الملائمة للغلاف الجوي. تعمل طبقة علوية من الغلاف الجوي (يُطلق عليها الغلاف الأيوني) كمرآة جزئية تعكس موجات الراديو. إذن: الإشارات اللاسلكية الصادرة من تيتانيك لم تتجه خارجًا فوق سطح المحيط، بل كانت ترتد وتنعكس عاليًا في الغلاف الجوي لتعود أرضًا مرة أخرى، وهذا ما يفسر قدرة موجات الراديو على الانتقال عبر المحيطات على الرغم من أن تقوّس الأرض يعني عدم وجود خط رؤية بين المرسل والمستقبِل. وللموجات المنعكسة القدرة على الانتقال حول الكوكب بأسره، لأن الانعكاسات تساعدها على الالتفاف حول السطح المنحني، ولا توجد مرآة مماثلة في السماء للضوء المرئي.

ما فَتِئَ جاك فيليبس يملأ سماء الليل بذبذبات من موجات الراديو، وكان يبث موقع السفينة لأي أحد يستمع، إلى أن طفحت غرفته اللاسلكية بالماء، ولم تُكتب له النجاة، لكن الاتصالات طويلة المدى من خلال موجات الراديو أدت إلى نجاة ٧٠٦ من ركاب السفينة من بين ٢٢٢٣ راكبًا، وقد عاش هؤلاء ليروا العالم ينتقل من الصمت اللاسلكي المطبق إلى نغمات متنافرة من الاتصالات عبر هذه الموجات غير المرئية. لا تكاد توجد حاليًا بقعة من بقع الأرض إلا وقد لمستها هذه الموجات، فأضحت الحضارة البشرية مترابطة كما لم تترابط من قبل.

تهيمن موجات الضوء على عالمنا، وهي بمنزلة المركبة التي تنقل لنا الأجزاء الضئيلة من البقايا الشمسية التي تمد كوكبنا بالطاقة، وهي تربطنا مع بقية أصقاع

الكون، لكن شرعت حضارتنا في القرن المنصرم بتطوير علاقة جديدة مع تركيبات كل موجات الضوء الممكنة التي يطلق عليها اسم الطيف الكهرومغناطيسي . بعد أن كنا في الماضي مستهلكين سلبيين وممتنين لتمتعنا بالطاقة والمعلومات التي تأتينا بالصدفة، أضحينا الآن مستخدمين لموجات الضوء وننتجها بغزارة. وقد فتح الحَذَق الذي أصبحنا نتمتع به في معالجة الضوء الأبواب على مصاريعها نحو إجادة جبارة لمراقبة عالمنا ورصده والقدرة على بث المعلومات ونشرها على الفور لمعظم البشر، والتمكن من إجراء المكالمات الفورية مع أي فرد في العالم يمتلك جهاز هاتف نقال.

بيد أننا لا نستفيد من فيض الموجات إلا إذا حصلنا على وسيلة ما للفصل بين الرسائل العديدة التي ترسلها. وفرت لنا الموجات نفسها لحسن الحظ الإجابة عن ذلك، ولسنا بحاجة إلى تجهيزات متخصص أو خبير لمعاينتها بأنفسنا.

من الأماكن الرائعة للنظر سلسلة جبال سموكي الواقعة في ولاية تينيسي، إنها امتداد ضخم لمجموعة من الوديان والقمم الجبلية التي تغطيها غابات كثيفة خضراء. ومما يثير الذهول في النفوس ذلك الصفاء والشعور بالنقاء نحو الغابة، حيث تعيّن علينا للوصول إلى هناك المرور بمسقط رأس دوللي بارتون. كنت أعرف بطبيعة الحال تلك المغنيّة الريفية العظيمة، لكني لم أتجهز لمنظر المنتزه الذي يحمل اسمها «دولليوود»، وهو منتزه ترفيهي ضخم يحتفي بولاية تينيسي وموسيقاها الريفية وأرض معرضها وطبعًا بدوللي نفسها، وهنا تقع بؤرة الأحداث التي ستحدث لنا تاليًا. تتدفق إلى البلدات المجاورة مظاهر الاحتفالات المميزة؛ كقبعات رعاة البقر الوردية، وآلات الغيتار المزخرفة بإفراط، وخلفيات الموسيقى الريفية الطاغية في الأرجاء، إلى جانب الشعر الأشقر، ومعاطف القماش المتين، والترحيب الجنوبي الفخم. وبدا لي أن تقديم ويسكي البوربون الأمريكي عادة ثقافية إجبارية، مع أنني فضلت عليه سرًا قبعة رعاة البقر، لكن كل ذلك تغير عندما استيقظنا من النوم في صباح اليوم التالي واتجهنا نحو الجبال، إذ احتشدت الجماهير وهم يحملون معهم الكراسي المتنقلة المطوية ومبردات المشروبات ليجلسوا بأماكن علوية بهدوء لمشاهدة الغابة، وأي شيء عدا الظلام الدامس سيفسد العرض الاحتفالي القادم، فأطفأت جميع الأنوار ومُنعت المصابيح والهواتف. ومع حلول الغروب بدأ رقص اليراعات، وأُضِيئتْ الغابة بلمعان ملايين الحشرات الصغيرة التي تبث نورها. كنا هناك في ذلك المكان لإعداد فيلم وثائقي علمي، ولم يكن

أمامنا سوى ليلة واحدة لتصوير الحدث كله، وتجلت المشكلة بتصوير حدث كهذا في أنه يجب علينا التحرك والنظر حولنا جيدًا لكي نتمكن من رؤية ما سنتوجه نحوه، إلا أنهم أبلغونا أنه إذا تحتم علينا ذلك فبإمكاننا استخدام الأضواء الحمراء فحسب. كان من الواضح أنهم لا يريدون التسبب بإزعاج اليراعات بالأضواء البيضاء، فتسللنا في أرجاء الغابة ونحن نستخدم إشعاع اللون الأحمر الخافت، ومع اقتراب الساعة من الواحدة صباحًا توقفت معظم اليراعات، وتجهزنا لتصوير المقطع الأخير. بينما أخذ المخرج والمصور يعدّان الأضواء، جلستُ في مكان دامس الظلام مرتديةً خوذتي التي يعلوها مصباح أحمر تحت قطعة ملابس داكنة بسبب البرد، وطفقت أخربش بتدوين ما سأقوله من ملاحظات في الفيلم. وعندما استعد الآخرون ذهبت إليهم وفتحتُ مذكراتي لأتذكر آخر ما كتبت، لكنني تحت إضاءة المصباح الرأسي الأبيض الذي يرتديه المخرج لم أتمكن من قراءة ملاحظاتي. كان في الصفحة مجموعتان من الخربشات؛ إحداهما بالقلم الأحمر والأخرى بالأزرق، وكلتاهما فوق بعضهما. كان من المستحيل قراءة أيٍّ من هذين اللونين.

يصعب أن أجد مثالًا أفضل من المذكور آنفًا لإظهار مدى الاختلاف الكامل بين طول موجي وآخر، أدركتُ أنني كان يجب أن أكتب تلك الصفحة بالحبر الأحمر في ذلك اليوم. يسهل رؤية الحبر الأحمر تحت الضوء الأبيض على ورقة بيضاء، لكن تحت ضوء المصباح الأحمر الأمامي يصبح الحبر الأحمر غير مرئي. تعكس الورقة البيضاء الضوء الأحمر على عينيّ كما يعكس الحبر الأحمر الضوء الأحمر كذلك على عينيّ، وتظهر الصفحة بالإضاءة الحمراء بمصباح الرأس خالية لأن هذا الضوء الأحمر يرتد كله منها بالطريقة ذاتها بالضبط. ولذلك كتبتُ ملاحظات جديدة على الصفحة نفسها بالحبر الأزرق، فأمكنني رؤيته لأنه لا يعكس الضوء الأحمر، إذن: ثمة تباين بين الحبر والورقة، فلو نظرت إلى صفحة وأنا أضع مصباحًا أزرق على رأسي فسأرى الحبر الأحمر، لكني لن أرى الحبر الأزرق؛ أي كما يحدث في حال تحريك مؤشر المذياع، حيث بإمكاني اختيار ما أسمعه باختيار إضاءة اللون الذي أستخدمه، إذ للضوء الأحمر طول موجي أطول من الضوء الأزرق، وسأختار المعلومات التي سأحصل عليها من خلال انتقاء الطول الموجي الذي آخذه بعين الاعتبار.

يشبه هذا في الواقع عملية ضبط جهاز المذياع على محطة إذاعة، معظم الأساليب التي نستخدمها لكشف الضوء (وأصناف أخرى من الموجات) لن تكشف سوى نطاق ضيق من الطول الموجي، لو أن موجةً ذات طول موجي مختلف مرّت من بيننا فليس لدينا وسيلة لمعرفة أنها موجودة أصلًا، وقد أَوْضحَ دفتر ملاحظاتي بما لا يدع مجالًا للشك أن هذا يصح بالنسبة للألوان المرئية، على أنه يصح كذلك بالنسبة إلى الألوان غير المرئية. يفيض العالم من حولنا بموجات الضوء المختلفة، وجميعها تقع فوق بعضها، كالملاحظات المكتوبة بألوان حبر مختلفة، وهي لا تتفاعل معًا أو تغيّر الألوان الظاهرة الأخرى، فكل لون منها يتمتع بالاستقلالية. يمكننا اختيار موجات راديو طويلة الموجة للاستماع لمحطة إذاعية، أو يمكننا الضغط على زر جهاز التحكم عن بعد لإرسال إشارات أشعة تحت الحمراء لا تراها إلا أجهزة تلفازنا، أو بإمكاننا الانتظار ليبحث جهاز هاتفنا الذكي عن شبكات الواي فاي المتاحة؛ كل شبكة صُممت بفعالية لتبث بلون مختلف، لكنْ لهذه الألوان طول موجي ذو موجة قصيرة أو صغرى . وهذا التنوع في المعلومات موجود طوال الوقت، فكل طول موجي يقع فوق الآخر، ولن نعرف بوجوده إلا إذا بحثنا عن المعلومات في الاتجاه المناسب. نرسم صورتنا عن العالم من خلال نطاق شديد الضيق من الطول الموجي، ألا وهي الألوان المرئية من قوس قزح، لكن هذه الألوان المرئية لا تتأثر بأية طريقة بجميع الألوان الأخرى المتوفرة.

إن عدم تأثير الأطوال الموجية المختلفة ببعضها يُعد من الظواهر المفيدة للغاية، بإمكاننا حصد الجيد منها وتجاهل الأخرى. يتأثر كل طول موجي مختلف بالعالم الذي يحيط به بطريقة مختلفة، فالعالم يصنف الموجات وينقّيها بحسب طول موجتها. والشيء بالشيء يذكر، فقد عشتُ على بعد ١٤ ميلًا فقط من أكبر تلسكوب في المملكة المتحدة، مع أنني ترعرعتُ قرب مدينة مانشيستر الممطرة والغائمة بكثافة، حيث تعد رؤية سماء الليل من النوادر. يُصنّف تلسكوب لوفِل في منطقة جورديل بانك كأحد التلسكوبات اللاسلكية ، إذ يصل قطر طبقه إلى ٧٦ مترًا، ويقدم هذا التلسكوب منظرًا ممتازًا للسماء حتى في أحلك أيام مانشيستر أو عند تكاثف السحب الماطرة لعدد من الكيلومترات، ويعادل الدخول في سحابة، بالنسبة إلى الضوء المرئي ذي الطول الموجي الأقل من جزء المليون في المتر، كالدخول في لعبة الكرة والدبابيس ، فالضوء يأخذ بالارتداد والانحراف والانعطاف، ويُمتص بالنهاية كليًا، لكن الأطوال الموجية الضخمة تماثلها في كل شيء سوى

أن طول موجاتها يبلغ ٥ سنتيمتر تقريبًا، وتمر من بين كل تلك العقبات الصغيرة بلا أدنى تأثير. في المرة القادمة التي تأتون بها إلى مانشيستر وأنتم تحت المطر، ضعوا ذلك في اعتباركم، فلربما يمنح ذلك شيئًا من الراحة البسيطة بمعرفة أن الفلكيين ما زال بوسعهم رؤية رحابة الكون حتى لو كنتم لا ترون أبعد من سطوح منازلكم ، وربما لن يمنحكم شيئًا من ذلك!

يصلح كوكب الأرض للمعيشة لسبب يكمن في تفاعل الأطوال الموجية المختلفة للضوء تفاعلًا مختلفًا مع الأشياء التي يلمسها، إذ تتدفق الطاقة من الشمس الساخنة كتآلف عظيم وعريض لموجات الضوء، فيعترض كوكبنا الصخري قدرًا ضئيلًا من هذا السيل العارم، وما يبقينا بدرجة حرارة دافئة ومقبولة هي الطاقة التي يمدنا بها ذلك القدر الضئيل من الموجات، لكن لو توقف الأمر عند هذا الحد لوصل معدل درجة حرارة سطح الأرض إلى (- ١٨) درجة مئوية، وهي درجة شديدة البرودة بدلًا من الدرجة المريحة الحالية؛ وهي (+١٤) درجة مئوية، وهي ما يحفظنا ويقينا من التجمّد الأبدي الذي يُطلق عليه اسم «ظاهرة البيت الزجاجي» ، فللطريقة التي تؤدي بها عملها علاقة وطيدة مع الأطوال الموجية المختلفة للضوء والمتفاعلة مع الغلاف الجوي بطرق متباينة.

فلنتخيّل المنظر الذي تعرضه أحد الأعمال الكرتونية من مكان مرتفع، حيث تظهر أغلب السماء بلون أزرق مع غيوم بيضاء تتحرك في الصورة لإضافة شيء من التنوع، ولو صوبنا أنظارنا نحو أرض مسطحة، فسنرى أشجارًا خضراء وعشبًا وأرضًا داكنة. وينير ضوء الشمس المشهد عمومًا عدا الظلال التي تتركها السحب. لكن ما يصل الأرض أمامنا يختلف عما صدر من الشمس المتوهجة، فقد امتص الغلاف الجوي الأطوال الموجية الطويلة تحت الحمراء ومعظم الأشعة فوق البنفسجية ذات الأطوال الموجية الأقصر، لكن الضوء المرئي مضى بطريقه بيسر وسهولة من دون أن يؤثر فيه شيء. لقد انتقى الغلاف الجوي الموجات التي تطأ الأرض والتي لا نراها إلا بسبب الصدفة المحضة، وتتصرف السماء «كنافذة جوية» على مستوى الأطوال الموجية المرئية، لتسمح بمرور كل شيء. توجد نافذة أخرى لموجات الراديو (وهو ما يفسر رؤية التلسكوبات الراديوية للكون)، لكن معظم الموجات الأخرى يحجزها الهواء.

كلما رأينا أرضًا يغلب عليها اللون الداكن زادت الموجات المرئية التي تمتصها الأرض، وتتحول الطاقة التي امتُصت في نهاية المطاف إلى حرارة. إذا لمسنا

أرضًا داكنة في يوم مشمس فسنشعر بتلك الحرارة، أما بقية تلك الطاقة فستنعكس عاليًا لتعود عبر النافذة الجوية. لو أن أية كائنات غريبة موجودة فعلًا في الفضاء وتتطلع نحونا، فسترانا من خلالها.

لكن الأرض قد زادت سخونتها الآن، وعلى غرار عنصر التسخين في المحمصة الكهربائية، لا بد على الأرض أن تتخلص من الطاقة الضوئية بسبب درجة حرارتها الباردة نسبيًا، وبالتالي لا نستطيع رؤية ذلك الوهج، لكن الأرض الدافئة تبدو كالمصباح من خلال الأشعة تحت الحمراء ذات الأطوال الموجية الأطول، وهنا يظهر مفعول تأثير البيت الزجاجي. سيسمح الغلاف الجوي بتمرير معظم تلك الموجات تحت الحمراء، لكن بعض الغازات – الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان والأوزون – تقوم بعمل يفوق حجمها، فعلى الرغم من أنها لا تشكّل سوى جزءٍ يسيرٍ من مجمل الغلاف الجوي، إلا أنها تمتص الموجات تحت الحمراء بقوة شديدة، وهي تُعرف بغازات البيت الزجاجي. بوسعنا رؤية الضوء المرئي يبتعد عن سطح الأرض لكننا لا نرى الأشعة تحت الحمراء، ولو استطعنا ذلك فقد نرى أنها خبت وذبلت مع ابتعادها شيئًا فشيئًا عن الأرض. ويمتص الغلاف الجوي الموجات تحت الحمراء على إثر صعودها عاليًا، ولن يمضي وقت طويل حتى تتخلى تلك الجزيئات عن طاقتها لتخرجها مرة أخرى كموجات تحت الحمراء إضافية. لكن تتجلى هنا النقطة المهمة، فعندما تُخرَج الموجات الجديدة فستُرسَل إلى جميع الاتجاهات بالتساوي، ولن ينتقل للأعلى وإلى خارج الغلاف الجوي سوى بعض منها، أما بعضها الآخر فسيرتد وتمتصه الأرض. إذن فإن بعضًا من الطاقة المتنقلة سينحصر في الغلاف الجوي، وذلك التسخين القليل هو ما يحفظ كوكبنا أدفأ مما ينبغي، ومما يسمح بوجود الماء السائل. يتحتم تأسيس توازن جديد؛ فمقدار الطاقة التي تدخل الغلاف الجوي لا بد أن تساوي مقدار الطاقة الخارجة منه، وإلا فإننا سنتعرّض لحرارة متزايدة ومتواصلة لا تتوقف. وهكذا، فإن الأرض تسخن إلى أن تتخلى عما يكفي من موجات تحت الحمراء للحفاظ على حالة التوازن العامة.

هكذا يعمل «تأثير البيت الزجاجي» ، فمعظمه طبيعي، إذ ثمة كثير من الماء وثاني أكسيد الكربون في غلافنا الجوي، وكل شيء يبقى في حالة التوازن طالما يظل متوسط درجة حرارة السطح عند ١٤ درجة مئوية. لكن عندما يستمر حرق الوقود الأحفوري، يضيف البشر مزيدًا من انبعاث ثاني أكسيد الكربون للغلاف

الجوي، فينحبس في الغلاف الجوي مزيد من طاقة الأشعة تحت الحمراء المنتقلة نحو الأعلى، وهذا يخلّ بالتوازن، وهكذا سيسخن الكوكب إلى أن يتحقق توازن جديد. كميات ثاني أكسيد الكربون المؤثرة قليلة للغاية؛ كوّن غاز ثاني أكسيد الكربون من ٣١٣ جزءًا لكل مليون جزء من الغلاف الجوي في سنة ١٩٦٠، و٤٠٠ جزءٍ لكل مليون في سنة ٢٠١٣، ويعد هذا الارتفاع بالمقارنة مع جميع الجزيئات الأخرى زيادة طفيفة، لكن تلك الجزيئات تنتقي موجات معينة لتمتصها، فالميثان سيمتص أشعة تحت الحمراء أكثر من ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي تشكّل هذه الغازات أهمية لا يمكن إغفالها. من الصحيح أن تأثير ظاهرة البيت الزجاجي هو ما جعل كوكبنا قابلًا للحياة، لكنه يحمل كذلك إمكانية تغيير درجة الحرارة تغييرًا ملحوظًا. كل ذلك يحصل بسبب الموجات التي لا نستطيع رؤيتها مباشرة، لكن بوسعنا أن نقيس تبعاتها سلفًا.

يعجّ عالمنا بجميع أصناف الموجات؛ موجات راديو عملاقة، وموجات ضوء مرئية ضئيلة، وموجات محيطات، وموجات صوت عميقة وثقيلة تطلقها الحيتان تحت الماء، وإشارات صدى صوتية عالية التردد تصدرها الخفافيش، ويتحرك كل صنف بسرعة عالية ويتجاوز الأصناف الأخرى، لكنه لا يحدث تأثيرًا فيها. ويتبقى لدينا سؤال لنجيب عنه: ماذا يحدث عندما تتقابل موجة مع أخرى من الصنف نفسه؟ تكون الإجابة جميلة إذا كنتم تمسكون بلؤلؤة قزحية، لكنها إجابة تودون تجنّبها إذا كنتم تجرون محادثة بهاتف نقال.

يمكن العثور على المحارة العملاقة «بينكتادا ماكسيما» قابعة في قاع البحر على بعد بضع أمتار، تحت سطح بحر فيروزي قرب تاهيتي والجزر الأخرى في جنوب المحيط الهادئ، وعندما تتغذى المحارة ينفتح شَطْرَا قوقعتها بمقدار بسيط، وتمتص الماء لداخلها بمعدل غالون في اليوم، وينقّي الحيوان الرخوي داخل القوقعة أي قطع من الطعام ويصفّيها، ومن ثم يطرد الماء المصفى ليعود للمحيط مجددًا. قد يسبح المرء فوق هذه المحارة ولا يلاحظها، فالقشرة الخارجية للقوقعة خشنة ولا يكاد يميزها عما يجاورها شيء، لا سيما أنها منقّطة باللونين الرملي والبني. هذه المخلوقات التي تؤدي دور مكانس التنظيف في المحيط تتأقلم بشكل يلائم عملها، فهي وظيفية ولا يبدو عليها من الخارج الجمال والتألق، أما ما في داخل المحارة فلا يُفترض أن تقع عين أحد عليه، إلا أن كليوباترا وماري أنطوانيت ومارلين مونرو وإليزابيث تايلور افتخرن جميعهن بامتلاك ما ينتج من أحشاء

محارة صنعت أقصى ما يمكنها صناعته؛ ألا وهو اللؤلؤة. إن بينكتادا ماكسيما محارة لؤلؤ من جنوب المحيط الهادئ.

يجد بين حين وآخر كائنٌ مزعج طريقَه نحو المكان الخاطئ من المحارة، وحيث أنها تفتقر إلى وسيلة تطرد بها المقتحم، تلجأ المحارة إلى تغطيته بشيء غير ضار، المادة نفسها التي تغطي بها ما بداخل القوقعة، فكأنها تقوم كما يفعل بعض الناس بكنس شيء تحت السجادة ليبقى مخفيًا عن الأنظار، مع اختلاف أنها تجعل السجادة متناسبة بدلًا من استعمال السجادة الموجودة سلفًا، ويتكوّن هذا الغطاء من لويحات مسطحة مدعومة بمادة غروية عضوية ومكوّمة فوق بعضها، وفور أن تبدأ عملية التغطية، تمضي المحارة قدمًا. لقد اكتُشف مؤخرًا أن اللؤلؤة تلتف وتدور عند تكوّنها، إذ تدور دورة ربما كل خمس ساعات. يتعاقب المد والجزر وتدور الفصول والمواسم وتمر أسماك القرش وأسماك شيطان البحر والسلاحف من فوقها والمحارة جالسة بهدوء في مكانها ومنكبّة على تنقية المحيط، في الوقت نفسه تدور اللؤلؤة النامية وترقص رقصتها البطيئة في ظلامها الدامس.

تهيمن السكينة والهدوء لسنين إلى أن تواجه محارتنا يومًا فظيعًا لحظة انتزاعها بفظاظة من المحيط على يد أحد أبناء البشر الذي يفتح هذه الجائزة الثمينة، يصطدم ضوء الشمس باللؤلؤة لأول مرة وترتد موجات الضوء من سطحها الأبيض اللامع، لكن موجات الضوء لا تكتفي بالارتداد من اللويحات في أعلى اللؤلؤة، بل ينفذ بعضها نحو الطبقات التالية القليلة لترتد منها بدلًا من التي في الأعلى، أو ربما ترتد عددًا من المرات داخل الطبقات قبل أن تخرج. يتحصّل لدينا الآن وضع يظهر فيه نوع واحد من الموجات؛ فلنفترضها الضوء الأخضر الصادر من الشمس، وهي تتشابك وتتداخل مع موجات أخرى من النوع نفسه. ما زالت الموجات لا تؤثر في بعضها لكنها ما تنفك تتراكم، وتصطف أحيانًا موجة الضوء الأخضر التي ترتد من السطح مع موجة الضوء الأخضر التي ترتد من السطح التالي أسفلها، فيتطابق بالضبط حضيض الموجتين وقمتهما، وتستمر بالمضي جنبًا إلى جنب نحو العالم الخارجي كموجة خضراء مدعّمة. لكن الضوء الأحمر القادم من الزاوية نفسها، ويرتد من الطبقات بطريقة مماثلة، قد لا يصطف على نحو تام، والقمم من موجة حمراء واحدة تصطف مع حضيض الموجة الحمراء الأخرى. وإذا أضفناها كلها معًا لن يتبقى شيء من الموجات الحمراء لينتقل للعالم الخارجي.

هذه الطبقات من اللويحات هي السبب بتمكين كائن رخوي دقيق من تنقية غذائه، هذا الكائن الذي يعيش في المحيط الهادئ ويصنع جوهرة يسعى وراءها أكثر أفراد المجتمعات البشرية تألقًا وشهرة. وتلك الطبقات من الصغر والنحافة بحيث تظهر بالحجم المناسب للتأثير في مدى اصطفاف موجات الضوء، ويتكرس دورها المهم في خلط الضوء قليلًا لكي تتمكن الموجات التي تنتمي إلى النوع نفسه من التشابك مع بعضها. تتراكم الموجات (يسمي الفيزيائيون ذلك تداخلًا بين بعضها)، والنتيجة هي أنماط ملونة. تعزز موجات الضوء المنعكسة نفسها بالنسبة إلى بعض الزوايا، فنرى لمعانًا باللونين الوردي والأخضر من السطح الأبيض البرّاق، أما من زوايا أخرى، فربما الأزرق هو ما يصطف أو لا لون على الإطلاق. ومع انكشاف اللؤلؤة للشمس، نرى أكثر من التماعة قادمة من تراكم الموجات، هذا ما نطلق عليه تقزحًا لونيًا ، وهو بريق غامض وعجيب الشكل يعتز به البشر أيّما اعتزاز لشدة ندرته وجماله. ما يحدث هنا أن اللآلئ تكوّن نمطًا غير منتظم من موجات الضوء، وعند تحريكها نرى جوانب مختلفة من ذلك النمط، لكن يظهر لنا كما لو أن اللآلئ تشع لمعانًا فنحبها نتيجة لذلك. أتقن البشر مؤخرًا هندسة هذا المجال لصالح أنفسهم، لكن نظل حتى أيامنا هذه معلقين بالمحارة الطبيعية لنستخرج منها صناعتها الصعبة التي نحب.

يعرض اللؤلؤ بوضوح النتيجة المترتبة على تشابك موجات النوع الواحد، فأحيانًا تصطف القمم والحضيض وتتجمع معًا مكونين بذلك موجة موحّدة أقوى، تنتقل باتجاه محدد. فيما تعمل في أحيان أخرى على تقليل تأثير بعضها فلا تتبقى موجة إطلاقًا في ذلك الاتجاه. سينتج نمط موجة جديد في أي وقت يوجد أي شيء تنعكس منه الموجات أو عند توفر أكثر من مصدر واحد للموجات؛ تخيلوا التموجات المتشابكة من إسقاط حصاتين متطابقتين جنبًا إلى جنب في بركة من الماء.

لكن هذا ما يثير أسئلة عدة، ماذا يحدث عندما تتشابك أصناف أخرى من الموجات المتطابقة؟ وماذا عن الهواتف النقالة؟ لقد رأينا مجموعات من الناس تقف جنبًا إلى جنب وكلهم يجرون مكالمات مع أناس مختلفين وباستخدام هواتف متطابقة الطراز، وما يربطهم بالعالم موجات متشابهة النوع مثلهم مثل مئات أو آلاف الناس الآخرين في المدينة نفسها. تعرقلت الاتصالات اللاسلكية في الوقت الذي غرقت فيه سفينة تيتانيك، لأن عشرين سفينة في شمال المحيط الأطلسي كانت كلها تستعمل التقنية ذاتها والنوع نفسه من الموجات لإرسال الإشارات. أما في

وقتنا الراهن فبالإمكان رؤية مئة شخص يعيشون في عمارة واحدة وكلهم يجرون مكالمات على هواتف نقالة متشابهة في الوقت نفسه. كيف استطعنا أن ننظم كل هذا التنافر من الموجات لجعل ذلك متاحًا؟

تخيلوا لو نظرنا من الأعلى نحو مدينة مزدحمة، وصوّبنا النظر نحو رجل يمشي على قارعة الطريق ويخرج هاتفه من جيبه وينقر على شاشة اللمس فيه ثم يضع الهاتف على أذنه، يجب علينا الآن التمتع بقوة بصر خارقة لرؤية موجات الراديو بأطوال موجية مختلفة على شكل ألوان مختلفة، تتموّج الموجات الخضراء نحو جميع الاتجاهات انطلاقًا من هاتف الرجل، فتظهر براقة وقوية بشدة عند الهاتف ذاته، وما تلبث أن تخفت وتبهت مع ابتعادها تدريجيًا عن مصدرها. لا يبعد برج محطة البث (الموقع الخلوي) سوى ١٠٠ متر، فيتلقى إشارة الموجات الخضراء ويعمل على فك شيفرة الرسالة، فيتعرّف إلى رقم الهاتف الذي يريد الرجل الاتصال به، ثم تعيد محطة البرج إشارتها إلى هاتف الرجل، فيخرج تموّج أخضر آخر، لكن لون هذه الإشارة الجديدة مختلف جزئيًا عن الأخضر الأصلي. هنا تكمن أولى خدع وسائل اتصالاتنا الحديث، فبينما لم يكن بوسع السفينة تيتانيك سوى إرسال إشارة وحيدة تحتوي على خليط من أطوال موجية كثيرة، تتمتع تقنياتنا الحالية بدقة مذهلة في عملية التمييز بين الأطوال الموجية المُرسلَة والمُستقبَلة، ويظهر الطول الموجي للإشارة الأولى الصادرة من الهاتف بطول ٣٤,٠٦٧ سنتيمتر، أما الطول الموجي المستخدم لإرسال الإشارة العائدة فطولها ٣٤,٠٥٩ سنتيمتر، فيمكن للهاتف ومحطة البث الاستماع والكلام على قناتين بأطوال موجية لا يختلف الفارق بينهما سوى بمعدل كسر صغير جدًا من ١ بالمئة. لا تستطيع عيوننا تمييز الألوان بهذه الدرجة الهائلة من الدقة، لكن على غرار الحبرين الأحمر والأزرق على ورقتي البيضاء، تتسم تلكما الموجتان بأنهما منفصلتين وغير متداخلتين ببعضهما. بينما يسير الرجل على الشارع، تحمل الموجات الخضراء المتموجة من هاتفه نمطًا يتمثل بالرسالة التي تُرحّل وتنتقل لنقطتها التالية. وتتحدث امرأة كذلك في الشارع على الهاتف مستخدمةً طولًا موجيًا مختلفًا جزئيًا مرة أخرى، لكن محطة البث الهوائي قادرة على التمييز بين المتحدثين الاثنين، لهذا السبب تبيع الحكومة ترددات الأمواج على شكل نطاق محدد من الترددات؛ إذا كان هاتفك يستخدم هذا النطاق فلك الحرية بالتنقل بين القنوات بأصغر الموجات الممكنة، طالما أن المعدات المخصصة لذلك قادرة على التفريق والتمييز بينها. ولذلك مع

إطلالنا على هذا الجزء من المدينة، نرى كثيرًا من البقع البراقة حيث ترسل الهواتف إشاراتها، وترتد هذه الإشارات وتنعكس من مختلف العمارات والمباني ويمتصها كل ما يجاورها ببطء، لكن يصل معظمها إلى محطة البث الهوائي قبل أن تصبح أضعف من اللازم.

مع ابتعاد صاحبنا الذي نراقبه على الطريق عن محطة البث، نبدأ هنا برؤية ألوان، ويكتظ الشارع أمامه ببقع لاسلكية حمراء تتركز كلها على محطة البث التالية التي ترسل ظلالًا عديدة من الأحمر نحو الهواتف القريبة منها. ومع ضعف الإشارة الخضراء التي كانت قوية من المحطة الأولى، يكتشف هاتف الرجل ترددات جديدة ويبدأ بالاتصال مع محطة البث الجديدة. ليس لديه أدنى فكرة أنه يصل إلى حافة القسم «الأخضر»، لكنه ما إن يشعر بذلك حتى يكون هاتفه قد غير الأطوال الموجية بحيث ترسل ظلالًا من اللون الأحمر. على أن محطة البث الخضراء الأصلية لم تَنْتَقِ تلك الظلال، بل بثتها المحطة الحمراء الجديدة على مراحل متتابعة. لو واصل الرجل مسيره فقد يمشي في مناطق حيث تبدو فيها الموجات اللاسلكية بلون أصفر أو أزرق بالنسبة إلينا؛ لأننا -كما تخيلنا آنفًا- نتمتع بقوة رؤية لاسلكية خارقة. تتلامس الآن بقعتان من اللون ذاته؛ لكنه إذا مضى في مسيره لمسافة أبعد فقد يمر في منطقة خضراء جديدة، وهنا تظهر الخدعة الثانية لشبكات هواتفنا النقالة. وإذا أبقينا قوة الإشارة منخفضة جدًا فإننا نتأكد من وصول الإشارات إلى المحطة الأقرب، لا أبعد من ذلك، وهذا يعني أننا إذا ابتعدنا قليلًا عن نطاق هذه النقطة فإننا ننتقل إلى محطة جديدة باستخدام الترددات الخضراء ذاتها. لكن الإشارات من المحطتين ذواتَي اللون الأخضر أضعف بكثير من أن تلتقيا معًا، ولذلك لا تحدث مشكلة التداخل بينهما. تتدفق المعلومات من مركز كل خلية وإليها (الخلية هو الاسم الذي يُطلق على البقعة حول محطة الإرسال الهوائية) ، لكنها لا تتداخل مع المعلومات من الخليات الأخرى. لا يهم إذا كان كل الناس يتحادثون في اللحظة نفسها لأنهم يستخدمون في ذلك موجات مختلفة بشكل طفيف. وتقنية محطات الهواتف الحديثة قادرة على التمييز بين كل تلك المكالمات من خلال ضبط أجهزة استقبالها وموالفتها بدقة شديدة جدًا. إذا أرسل هاتفكم إشارات على طول موجي خاطئ بجزء ضئيل فلن تصل الرسالة لوجهتها، لكن الدقة الشديدة للتقنيات الحديثة تعني أن تلك الدرجات من الدقة الضئيلة جدًا كافية للتمييز بين كل موجة على حدة.

إننا نسير تحت كل هذه الموجات فوق رؤوسنا كل يوم حيث التموجات المتتابعة والمتشابكة من الهواتف وشبكات الواي فاي والمحطات اللاسلكية والشمس والسخانات وأجهزة التحكم عن بعد، ألا وهي موجات الضوء. أما فوق ذلك فتأتي موجات الصوت؛ كهدير الأرض العميق وموسيقى الجاز والصفارات التي تستدعي الكلاب والموجات فوق الصوتية المستخدمة لتنظيف أدوات جراحة طب الأسنان. ثم لدينا التموّجات التي تظهر على كوب الشاي عندما ننفخ عليه ليبرد، وموجات المحيط والتضاريس من مرتفعات ومنخفضات لسطح الأرض من أثر الزلازل التي تقع من وقت لآخر. وثمة مزيد، فنحن نملأ عالمنا بمزيد من الموجات طوال الوقت لاستخدامها للكشف عن تفاصيل حياتنا وربطها، لكن كل تلك الموجات تتصرف جوهريًا بالأسلوب نفسه، فكلها لديها طول موجي، ويمكنها أن تنعكس وتنكسر وتُمتص. وفور أن ندرك أساسيات الموجات وخدعة إرسال الطاقة والمعلومات من دون إرسال «جسم» بعينه، فسنمتلك استيعابًا كبيرًا بأحد أبرز أدوات حضارتنا المعاصرة.

في سنة ٢٠٠٢ كنتُ أعمل في نيوزيلندا في مركز لعمل رحلات فروسية طويلة على ظهر الخيل قرب مدينة كرايست شيرتش. ورن جرس الهاتف ذات ليلة وذُهلت لكون الاتصال لي، كانت سماعة الهاتف لاسلكية مما وسعني أن آخذها معي خارجًا لأجلس على التلة وأتطلع عبر الغسق للريف النيوزيلندي، إنها جدتي، وقد قررت أن تتصل بي من بريطانيا (مضى على غيابي عن المملكة المتحدة آنذاك أكثر من ستة شهور، ولم أهاتف عائلتي خلالها إطلاقًا)، وقد ضغطتْ على الأرقام الصحيحة من هاتفها وها أنا ذا أكلمها على الطرف الآخر. ومع سؤالها بلهجة لانكشاير الإنكليزية الشمالية عن الطعام والخيول والعمل، كانت غرابة الموقف تشغلني وتصرف انتباهي عن كلامها، فقد كنت على الجانب الآخر من كوكب ضخم وعلى أبعد نقطة ممكنة من المكان الذي تعيش فيه عائلتي على الأرض (بمسافة ١٢,٧٤٢ كيلومتر كخط مستقيم، و٢٠,٠٠٠ كيلومتر لمسافة طيران أشد الغربان تفاؤلًا)، وها هي جدتي على الهاتف، تتكلم، وتثرثر، وما بيننا مسافة كوكب بأسره، والحقيقة أنني لم أتجاوز مطلقًا ما كانت عليه تلك الدقائق العشر من إرباك وحيرة. تربط الموجات في عصرنا الحالي كوكبنا، إذ نتحدث مع بعضنا طوال الوقت عبر موجات لا نراها، إنه إنجاز هائل كما أنه غريب كل الغرابة في جوهره. لقد رسمت أعمالُ ماركوني وأحداثٌ كغرق سفينة تيتانيك

خريطةَ طريق نحو العالم الذي نعيشه في الوقت الراهن الذي صرنا فيه نعدّ هذه الترابطات والاتصالات من الأمور المسلّم بها. أشعر بامتنان شديد أنني وُلدتُ بزمن يكفي للتعبير عن الإعجاب الفائق الذي يستحقه مثل هذا الإنجاز. لا تستطيع عيوننا كشف تلك الموجات، ودائمًا ما يصعب تقدير ما هو غير مرئي وتثمين منافعه، لكن عندما تجرون مكالمة هاتفية، أمعنوا التفكير جيدًا، إن الموجة شيء بسيط جدًا، لكن إذا تحلينا بالذكاء في كيفية الاستفادة منها، فهي قادرة على تقليص العالم.

الفصل السادس: لماذا لا يشعر البط بالبرد في أقدامه؟ رقصة الذّرّة

ينظر الناس إلى الملح في أغلب الأحيان بوصفه سلعة أو مادة بسيطة يضعونها في أدراج مطابخهم، ولا يأخذ نصيبًا كبيرًا من الاهتمام، لكن لو أمعنا النظر قليلًا وقرّبنا أبصارنا من حبيبات الملح، لا سيما إذا تسلط عليها ضوء برّاق، فسنلاحظ بما يثير الدهشة أن لها لمعانًا، بل أن المنظر يتحسن ويتبلور تبلورًا جليًا إن تعمقنا أكثر في النظر إليها. عند النظر في الملح باستخدام مجهر زجاجي نلحظ أن حبيباته غير خشنة ولا تتشكّل أو تتكتل عشوائيًا، بل أن كل حبة منها تأخذ شكل مكعب جميل وصغير وبجوانب مسطحة، قد تبلغ المسافة بين جوانبهما نصف ملّيمتر، وهذا يفسر لمعانها؛ فينعكس الضوء من جوانب المكعب المسطحة كما لو أنها مرايا صغيرة للغاية، وتُحدث حبيبات الملح المختلفة وميضًا عند تحريك كومة منها تحت الضوء. أما الشيء الممل في قبو الملح (في عمقه) فيتكوّن من أشكال ضئيلة تبدو كل واحدة منها بشكل دقيق ومحدد. لا يتعمّد مصنعو الملح تكوين هذا الشكل، بل يتكوّن داخل الملح هكذا من تلقاء نقسه، ويمنحنا هذا الشكل مؤشرًا على تكوين تلك المادة.

الاسم الفيزيائي للملح هو كلوريد الصوديوم، ويتكوّن من عددٍ متساوٍ من أيونات الصوديوم والكلوريد . يمكننا تخيلهما ككرات مختلفة الحجم، ويبلغ قطر الكلوريد ضعف قطر الصوديوم تقريبًا. عندما يتشكّل الملح يحتل كل مكوّن من مكوناته موقعًا ثابتًا في هيكل محدد، وعلى غرار البيض المتكدّس في صناديق ضخمة، تتجمع أيونات الكلوريد في صفوف أفقية وأعمدة رأسية لتستقر معًا على شبكة مربّعة الشكل، وتملأ أيونات الصوديوم الأصغر الفراغات بينها بحيث يوجد أيون صوديوم واحد في وسط كل صندوق صغير مكوّن من ثماني أيونات كلوريد. وبلّورة الملح ليست سوى شبكة عملاقة؛ مكعّب بطول مليون ذرة أو نحوها على كل جانب من جوانبه، وعندما تنمو بلّورات الملح تنحو اتجاه أن تزرع طبقة جديدة عبر واجهة مسطحة بأكملها قبل أن تبدأ بالطبقة التي تليها، وبذلك يحافظ المكعب على جوانبه المسطحة خلال نموه. وهذا النظام يملأ الفراغات في البلورة بمقاييس ذرية للمسافات، وكل مكوّن فيها موضوعٌ بمكانه بالضبط، فيتسنى للجوانب المسطحة من كل مكعّب أن تعكس الضوء كالمرآة.

ليس بمقدورنا رؤية الذرات كلًا على حدة، غير أننا قادرين على رؤية نمط تركيبتها لأن بلورة الملح بمجملها ما هي إلا نمط متماثل يتكرر المرة تلو الأخرى، فالملح شديد البساطة، وحبيبة الملح الكبيرة بسيطة أيضًا، وتوجد الواجهات المسطحة التي تجعل الملح يلمع في مكانها لأن تلك الذرات لا بد أن تستقر في أماكن محددة على شبكة بلورة الملح المكعبة .

يلمع السكر كذلك، لكن عندما نمعن النظر عن قرب في بلورات السكر (لا سيما البلورات الكبيرة منها مثل السكر المحبب)، فسنرى ما هو أكثر جمالًا. تأتي هذه البلورات بشكل أعمدة من ستة جوانب بأطراف مدببة. يتكوّن كل جزيء سكر من خمس وأربعين ذرة مختلفة، لكن هذه الذرات مرصوصة بطريقة ثابتة ومتشابهة في كل جزيء. وجزيء السكر الواحد يبدو كالطوب [أو الحجر القرميدي] على شكل منحوت بلوري حتى وإن كانت طوبة معقدة الشكل. وتتكدس هذه فوق بعضها أيضًا على غرار بلورات الملح البسيطة في شبكة مكعّبة منتظمة، ولا يوجد لها سوى نمط وحيد لتتبعه. ولا نستطيع هنا رؤية الذرات لكننا نرى ذلك النمط لأن البلورة بمجملها تشكّل كومة عملاقة تشابه ناطحة سحاب مكوّنة من جزيئات. وبما أن العواميد ذات الستة جوانب لها جوانب مسطّحة تبدو كالمرايا، يلمع السكر كما يلمع الملح.

الدقيق والأرز والبهارات المطحونة لا تلمع لأن لها تركيبًا أكثر تعقيدًا، فهي مصنوعة مما يشبه مصانع حيّة نسميها خلايا، والسبب الوحيد الذي يجعل بلورات السكر والملح تمتلك جوانب مسطّحة مكتملة إنما يكمن في امتلاكها مثل هذا التركيب البسيط؛ صفوف وأعمدة من الذرات المندمجة في مواقع مخصصة. ولا يتسنى ذلك التكرار التام إلا بسبب وجود مليارات وحدات البناء الضئيلة والمتطابقة؛ ألا وهي الذرات. واللمعان ما هو إلا تذكير بوجودها في كل مرة نضع فيها ملعقة من السكر في الشاي.

بوسعنا أن نرى نتائج ما يحصل في أعماق العالم الصغير حتى وإن لم يكن بمقدورنا رؤية الذرات نفسها. وما يجري من أمور في نطاق الأحجام الصغيرة يؤثر تأثيرًا مباشرًا فيما نفعله على النطاق الأكبر في مجتمعنا، لكن علينا أولًا أن نقتنع بوجود الذرات.

أمسى وجود الذرات في عصرنا الراهن من المسلّمات، فمفهوم بناء كل شيء من كرات مادية ضئيلة جدًا من الأمور البسيطة نسبيًا وهو معقول ومنطقي بالنسبة

إلينا لأننا ترعرعنا على هذه المسألة، لكن على القارئ الكريم أن يعود إلى ما قبل سنة ١٩٠٠ ليجد نقاشات ومناظرات جادة في الأوساط العلمية حول ما إذا كانت الذرات موجودة أصلًا. لقد أطلّت مخترعات التصوير والهواتف والمذياع لتبشّر بعصر تقني جديد، غير أنه ما زال ثمة عدم اتفاق على مكوّنات «الشيء» المصنوعة منه، وقد بدت الذرات بالنسبة إلى كثير من العلماء فكرة معقولة، فعلى سبيل المثال: اكتشف علماء الكيمياء عناصر مختلفة بدا أنها تتفاعل بنسب ثابتة، وهو ما بدا منطقيًا إذا احتجنا ذرة واحدة من نوع واحد نُضيفها إلى ذرتين من نوع آخر لصنع جزيء مفرد، لكن المُشَككين لم يرتاحوا لذلك، فكيف نتأكد على وجه اليقين من وجود شيء شديد الضآلة كهذا؟

نُسِبت مقولة مقتبسة بعد عدة عقود إلى العالم وكاتب الخيال العلمي إسحق عظيموف ، تعبّر تعبيرًا ممتازًا عن المسار الشائع لأي اكتشاف علمي؛ يقول فيها: «إن أكثر العبارات المثيرة التي نسمعها في ميدان العلم، وتبشّر باكتشافات جديدة ليست عبارة (وجدتها!) التي صاح بها أرخميديس، بل (اممم... هذا غريب...)». يُعد التأكيد النهائي لوجود الذرات مثالًا ممتازًا لأخذ العلم ذلك المسار، لكن ذلك لم يحدث إلا بعد ما يقرب من ثمانين عامًا. بدأت الساعة تدق في سنة ١٨٢٧ عندما كان عالم النباتات روبرت براون يتفحص بالمجهر حبوب لقاح معلقة في الماء، إذ عملت جسيمات ضئيلة على فصل حبوب اللقاح وكانت من أصغر الأشياء التي يمكن رؤيتها بمجهر بصري، سواء آنذاك أو حتى الآن. لاحظ روبرت براون أنه حتى مع بقاء الماء في حال سكون تام، تظل تلك الجسيمات الضئيلة في حالة اهتزاز عشوائي، فافترض بدايةً أن ذلك يحصل بسبب كون تلك الجسيمات حيّة، لكنه رصد لاحقًا أن الاهتزاز العشوائي ذاته يحدث مع المادة غير الحيّة، كان ذلك غريبًا، ولم يمتلك أي تفسير له، لكنه كتب عما لاحظه وعلى مدار العقود القليلة التالية لاحظ أناس آخرون الظاهرة ذاتها. أصبح هذا الاهتزاز الغريب يُعرف باسم «الحركة البراونية» . لم تتوقف هذه الحركة، وأكثر الجسيمات ضآلة هي فقط ما يتحرك بهذا الاهتزاز العشوائي. اقترح عدد من العلماء تفسيرات معينة، لكن لم يوفّق أحد منها إلى فك أسرار اللغز.

نشر في سنة ١٩٠٥ أشهر موظف سويسري في مكتب سجلات براءة الاختراعات؛ ورقة بناء على أطروحته للدكتوراه، يُشتهر آلبيرت آينشتاين بدراساته حول طبيعة الزمن والفراغ والنظريتين النسبية العامة والنسبية الخاصة،

لكن موضوع رسالته للدكتوراه كان عن النظرية الجزيئية الإحصائية للسوائل ، ووضع في ورقتيه اللتين قدمهما في ١٩٠٥ و١٩٠٨ تباعًا أساسًا لتفسير رياضي صارم للحركة البراونية. فشرح قائلًا: فلنفترض أن السائل يتكوّن من عدة جزيئيات، وهذه الجزيئات تتصادم مع بعضها باستمرار. ورسم صورة للسائل كمادة غير منتظمة وحيوية وتوجد فيها جزيئات يصطدم بعضها ببعض وتزيد وتبطئ من سرعتها وتغير اتجاهها مع كل تصادم؟ ثم أضاف: ما الذي يحدث لجسم أكبر بكثير من الجزيئات؟ سيصطدم من اتجاهات كثيرة، لكن بسبب كون الاصطدامات عشوائية يتلقى الجسيم أحيانًا صدمةً أو ما يزيد على ذلك من جانب واحد أكثر من الجوانب الأخرى، فيتحرك بذلك باتجاه جانبي بعض الشيء، ومن ثم يصطدم عشوائيًا نحو الأعلى أكثر من الأسفل، وهو يتحرك قليلًا لهذا السبب، وبالتالي فإن حركة الاهتزاز للجسيم الأكبر ما هي إلا نتيجة لتصادمه مع آلاف الجزيئات الأصغر. لم يكن بمقدور روبرت براون رؤية الجزيئات، بل تمكن من رؤية الجسيمات الأكبر. أما الحركة الاهتزازية التي تنبّأ بها آينشتاين فتوافقت مع ما لاحظه براون، وتلك هي الحالة الوحيدة لاحتمال أن يتكوّن السائل فعلًا من جزيئات تصطدم مع بعضها. ومن هنا فإن قِطعًا منفردة من المادة – الذرات – يتحتّم وجودها، بل هناك ما هو أفضل من ذلك، إذ تنبّأت إحدى معادلات آينشتاين بالحجم الذي تكون عليه الذرات لكي تسبب الحركة الاهتزازية المرئية. وبعد ذلك في سنة ١٩٠٨، قام جون بيرين بتجارب أكثر تفصيلًا انسجمت نتائجها مع نظرية آينشتاين، فأُسقِط في أيدي الذين تعتريهم الشكوك ولم يعد أمامهم سوى الاقتناع بالدلائل الجديدة. يتكوّن العالم من ذرات عديدة وضئيلة، وتأخذ هذه الذرات بالاهتزاز العشوائي المستمر، وهكذا فكل ذرة يمكنها أن تتحرك للأمام، وقد تلازم هذان الاكتشافان جنبًا إلى جنب. كما أن الاهتزاز المتواصل للذرات ليس عَرَضيًا أو يحدث بالمُصادفة، بل أسفر عن تفسير لأهم القوانين الفيزيائية الأساسية حول النظام الذي يعمل به العالم.

إحدى أكبر النتائج التي ترتبت على الفهم الجديد للذرات والجزيئات أن ظاهرة مثل «الحركة البراونية» يجب أن تُفسّر باستخدام المنهج الإحصائي، فلا معنى من تعقّب كل ذرة وحساب ما يحدث بالضبط عندما تصطدم بذرة أخرى، ومتابعة تعقب كل ذرة من مليارات الذرات في قطرة سائلة، فبدلًا من ذلك يستعمل الإحصاء لدراسة ما يحدث للذرات نتيجة الاصطدامات العشوائية بين الكثير منها. ففي وقت

محدد لا يمكن الجزم بالقول إن الجزيء الذي يتبع الحركة البراونية سيذهب بالضبط ١ ملّيمتر إلى اليسار، لكن يجوز القول إننا إذا أجرينا التجربة لمرات كثيرة فإن المطاف سينتهي به على بعد ١ ملّيمتر من النقطة التي بدأ منها هذا الجزيء في المتوسط. وبالإمكان حساب ذلك المتوسط بدقة متناهية، لكننا لن نحصل سوى على معدل متوسط، مما يعني أن الفيزياء أمست أكثر فوضوية بعض الشيء عما كانت عليه في عام ١٨٥٠. لكن أمكن هذا من تفسير أشياء كثيرة جدًا. وفور أن ندرك فكرة عمل الذرات فحتى الأمور الحياتية المعتادة مثل بلل الملابس بالماء ستبدو أكثر إثارة للاهتمام.

دار أول برنامج قدمتُه لهيئة الإذاعة البريطانية «بي بي سي» حول موضوع الغلاف الجوي الأرضي وأنماط الطقس حول العالم، فكان عليّ أن أقضي ثلاثة أيام في أكبر ظاهرة من ظواهر الطقس في كوكبنا وأكثرها شهرة؛ المناخ الموسمي الهندي ، فالمناخ الموسمي هو تغيير سنوي في أنماط الرياح حول الهند. وتجلب الرياح المعكوسة بين يونيو/تموز وسبتمبر/أيلول من كل سنة المطر، بل أمطارًا بكميات كبيرة في الحقيقة، وقد ذهبنا إلى هناك لنقاش فكرة مِن أين يأتي كل ذلك الماء.

أقمنا في أكواخ خشبية تطل على شاطئ هادئ في ولاية كيرلا التي تقع في أقصى الطرف الجنوبي من الهند، وكان أول يوم من أيام التصوير طويلًا وشَابَهُ التباين، فطقس المناخ الموسمي متقلب، مما أثار إحباطنا لحاجتنا لثبات الطقس على حاله لساعتين على الأقل لنتمكن من تصوير مقطع من الفيلم. تلا ضوء الشمس الساخن ساعة كاملة من هطول كثيف للأمطار، ثم رياح قوية ثمّ عاد ضوء الشمس الساخن مرة أخرى، لكن الجو كان دافئًا طوال اليوم، ولم أبالِ من ناحيتي بأن يهطل عليّ المطر طالما لا أشعر بالبرد، فالشعور بالبرد ليس ممتعًا البتة. كل مرة تمطر فيها السماء تغرق ملابسي تمامًا، وأضطرّ لأن أتدبّر طريقة لجعل ملابسي تبدو جافة قليلًا عندما تشرق الشمس. المشكلة التي تظهر لمن تُسلّط عليه الكاميرا أنه الشخص الوحيد الذي عليه أن يرتدي الملابس ذاتها طوال الوقت، فوجدتُ زاوية مشمسة ودافئة حيث يمكن للملابس أن تجف قليلًا، وشعرتُ كما لو أنني أمضيت عددًا من الساعات في تبديل الملابس؛ أخلعها وألبسها من جديد بدرجات مختلفة من البلل لأحاول أن أجعلها منسجمة مع ظروف الطقس الراهنة. وعند حلول الساعة السابعة من مساء ذلك اليوم، انفتحت أبواب السماء ثانية، وتبللت ملابسي

بشدة مرة أخرى، وبما أن الشمس كانت في تلك اللحظة في حالة غروب قررنا أن نوقف العمل.

عصرتُ ملابسي العلوية والسروال لأُخرِجَ الماء منها بكل ما أوتيت من قوة، واستخدمتُ منشفة لتجفيفها بكل ما استطعت، فانتقل إليها البلل كذلك، ثم علقتها وذهبتُ لإحضار العشاء. وبقيت الملابس في مكانها حتى السادسة من صباح اليوم التالي عندما حان وقت النهوض وبدء العمل، لكنني عندما أمسكتُ بالسروال لم يكن رطبًا فحسب بل أكثر بللًا مما كان عليه في الليلة السابقة، وما زاد الطين بلّة أنه أصبح باردًا جدًا، لأن درجة الحرارة تنخفض في الليل. يا للهول! لكن لم يكن بحوزتي ملابس بديلة، فاضطررتُ لارتدائها وأن أسير على طول الشاطئ وأتظاهر بأنني مفعمة بالحماس مع شروق الشمس من دون أن أرتجف.

في الحالة الغازية لا تنجذب الجزيئات نحو بعضها على وجه العموم، ولهذا نجدها تنتشر لتملأ أي حاوية توضع فيها. أما في الحالة السائلة فالوضع مختلف نوعًا ما، حيث لا تتوقف لعبة سيارات الاصطدام عن الحركة على قدم وساق، وتتقارب الجزيئات في هذه الحالة إلى حد أنها تتلامس طوال الوقت تقريبًا. في الهواء وفي درجة حرارة الغرفة، فإن متوسط المسافة بين أي زوج من جزيئات الغاز يعادل تقريبًا عشر أضعاف طول الجزيء الواحد. والجزيئات في السوائل متلاصقة معًا، وما تنفك تهتز عشوائيًا مع اصطدامها بالجزيئات المجاورة لها، كما يمكنها تجاوز بعضها بسهولة كبيرة، لكنها تتحرك بسرعة أقل من سرعة جزيئات الغاز. وبسبب بطء الجزيئات في السائل وتقاربها معًا، فإنها تشعر بالانجذاب للجزيئات القريبة منها، ولهذا السبب تكوّن السوائل القطيرات. أما درجة الحرارة فإنما تتعلق بكمية طاقة الحركة التي تمتلكها الجزيئات، والجزيئات في القطيرة الباردة السائلة لا تتحرك كثيرًا، ولذلك تبقى متلاصقة ومتماسكة. وإذا قمنا بتسخين القطيرة فإن متوسط سرعة جميع الجزيئات يزداد، وسينتهي المطاف ببعضها بأن تحصل على طاقة أكثر من المعدل المتوسط.

تحتاج الجزيئات لكي تفلت من السائل إلى طاقة كافية للهروب من قوة الانجذاب للجزيئات الأخريات، وهذه هي حالة التبخير، وتحدث في اللحظة التي يكتسب فيها الجزيء طاقة كافية للهروب من السائل ليطفو بنفسه وينضم إلى غاز من الغازات. كانت ملابسي المبللة مليئة بالماء السائل، فالجزيئات تدور حول نفسها بتثاقل وبلادة لكن من دون أن تتمتع بطاقة تكفي للهروب.

بذلتُ طوال ثلاثة أيام في ظل ذلك المناخ الموسمي كل ما بوسعي لتجفيف ملابسي، ويعني تجفيف الملابس وضعها في حالة تمنح جزيئات الماء السائل طاقة كافية للهروب والانزياح بعيدًا لمكان آخر. يمتص الماء السائل طاقة الشمس في أثناء تدفق ضوء الشمس الساخن فتهرب ببطء جزيئات الماء، لكن عندما تخيم الغيوم، أصبحُ كمن يقاتل في معركة خاسرة، فالمشكلة تمثلت بوجود ماء كثير في الهواء، أما الهواء الذي جاء من المحيط وهبّ جزء منه نحو الشاطئ فكان مشبعًا بالماء أيضًا. وتعمل الشمس مع إشراقها على المحيط الساخن على تدفئة طبقة السطح، وتلعب جزيئات الماء في المحيط لعبة سيارات الاصطدام كذلك، وعندما يسخن الماء يزداد متوسط سرعة الجزيئات. وعلى إثر تسخين سطح المحيط، ينتهي المطاف بحصول مزيد من الجزيئات على سرعة كافية للإفلات، وتنساب هذه الجزيئات عاليًا نحو الغلاف الجوي لتصبح بحالة غازية بدلًا من السائلة. وبالتالي فإن الهواء الدافئ والرطب الذي وصل إلى الشاطئ تشبّع سلفًا بجزيئات الماء الهاربة التي تمارس الآن لعبة سيارات الاصطدام مع الجزيئات الأخرى في الهواء.

عندما هطل عليّ المطر عملت حرارة جسمي على تسخين ملابسي لتمنح بعض جزيئات الماء التي أحملها معي طاقة كافية للإفلات نحو الهواء، مما يجعل الملابس تجف بمرور الوقت. لكن ظهرت المفاجأة غير السارة بوجود وفرة من جزيئات الماء في الهواء تصطدم بملابسي وتلصق بها، وحين يحدث ذلك تعمل على الانضمام إلى الحشد المتكدس من مثيلاتها، مما يزيد من بلل ملابسي أكثر، وسبب عدم جفاف ملابسي إنما يكمن في أن عدد جزيئات الماء التي تتبخر منها في الهواء تساوي عدد جزيئات الماء التي تتكاثف عليها من الهواء، وهذا ما يعنيه مصطلح رطوبة بنسبة مئة بالمئة؛ ومعناه أن كل جزيء يتبخر يحل محله جزيء آخر متكثف، إذا قلّت الرطوبة عن نسبة ١٠٠ بالمئة فستغادر السائل مزيد من الجزيئات أكثر من تلك التي تصل إليه، وكلما زاد هذا الفارق، كلما جفّت الأشياء بوقت أسرع.

ازداد الوضع سوءًا مع حلول الليل، فقد قلّت سرعة جميع الجزيئات على إثر برودة الهواء، فحتى المزيد منها قلّت سرعته بما يكفي للالتصاق بملابسي التي زاد ابتلالها أكثر فأكثر. أما النقطة التي تتكثف فيها الجزيئات بأكثر مما تتبخر فتسمى نقطة الندى ، وقطرات السائل التي تكثفت هي الندى. إلا أن بعض

الجزيئات التي تمتلك طاقة كافية تغادر السائل وتنضم للغاز، لكن تظل أعدادها غير مؤثرة بالمقارنة مع الجزيئات القادمة من الاتجاه الآخر. لو كان بمقدوري تسخين الملابس لزدتُ من أعداد الجزيئات المتبخرة، بما يكفي للوصول إلى نقطة التوازن مرة أخرى لتجف الملابس. وهكذا علقتُ بالجو الرطب كما علق به سكان الهند.

الدرس المستفاد هنا أنه دائمًا ما توجد حالة من التبادل تمضي على قدم وساق، وذلك الأسلوب الإحصائي للنظر إلى بحر هائل من الجزيئات مهم؛ لأن الجزيئات كلها لا تفعل الشيء ذاته؛ ستتبخر بعض الجزيئات فيما ستتكثف أخرى بالوقت نفسه وفي المكان نفسه بالضبط، وما رأيناه يعتمد على التوازن بين هذين الاحتمالين.

ثمة أوقات تتجلى فيها منفعة كل جزيء يتصرف بسلوك مختلف في حشد من الجزيئات، فعلى سبيل المثال: عند تبخر العرق من الجسم، لا يهرب سوى الجزيئات ذات الطاقة الأكبر، والنتيجة المترتبة على ذلك أن متوسط السرعة للجزيئات المتبقية تقلّ، وهذا يفسر أن التعرّق يلطف من حرارة أجسامنا؛ لأن الجزيئات الهاربة تأخذ معها قدرًا كبيرًا من الطاقة.

تجف الملابس عمومًا ببطء شديد، إنها عملية تتم بهدوء وسلاسة، يجد جزيء ماء نشط نفسه بين الحين والآخر على سطح الماء بطاقة كافية للهروب فيتبخر منه، لكن ليس شرطًا أن تكون العملية كذلك، كما أن للتبخر العنيف منفعة كبيرة لا سيما عندما نقوم بالطبخ، فقد تبيّن أن قلي الطعام، الذي يُصنّف عمومًا كأسلوب طبخ «جاف»، يدين للماء بفضل كبير.

أكثر طعام مقلي أحبه هو جبنة الحلوم التي طالما نظرت لها كنظير نباتي للحم الخنزير المقدد ، فالعملية بأسرها تبدأ بزيت في صحن ثقيل يسخن في الوقت الذي أقطّع فيه شرائح الجبن الطريّة، يمتص الزيت حرارة كافية بهدوء لترتفع درجة حرارته إلى ١٨٠ درجة مئوية، ولو لم أشعر بالحرارة القريبة لما عرفت بحصول أي شيء في ذلك الصحن، لكن فور أن أضع أولى شرائح الجبنة تعكر صفو ذلك الهدوء فرقعة وصوت أزيز، وإثر لمس الجبنة للزيت الساخن تزداد سخونة سطحه لتكاد تصل إلى درجة حرارة الزيت في غضون جزء من الثانية، فيصبح فجأة لدى جزيئات الماء على سطح الجبنة حمولات من الطاقة الفائضة التي تزيد بكثير على ما تحتاجه للهروب من السائل لتطفو كغاز، ونتيجة لذلك تنشق عن بعضها

وتنتج سلسلة من الانفجارات الغازية المصغّرة مع تحرّر الجزيئات في السائل. هذه الفقاعات من الغاز هي ما يمكنني رؤيته على سطح الجبنة، ومن هنا يأتي مصدر الضوضاء التي لها بالرغم من ذلك دور بالغ الأهمية. طالما يتدفق بخار الماء من الجبنة، لن يتمكن الزيت من الولوج للجبنة ولا يكاد يلمس السطح ولا يعبُر منه سوى ما يكفي لنقل طاقة الحرارة، لهذا السبب يصبح الطعام المقلي بدرجة حرارة منخفضة دهنيًا ومشبعًا بالرطوبة؛ فالفقاعات لا تتشكّل بسرعة كافية لإبقاء الزيت بعيدًا. ومع طبخ الجبنة يُنقل جزء من الحرارة إلى كتلة الجبنة الأكبر ليزداد بذلك تسخينها، وتتخلى الأطراف الخارجية عن كثير من الماء لأن الحرارة الشديدة تمنع أي سائل مائي من البقاء هناك، ولهذا يصبح السطح الخارجي هشًا أو مقرمشًا، فقد جفّ تمامًا. ويأتي اللون الأسمر أو البني من تفاعل كيميائي عند التسخين الزائد للبروتينات والسكر في الجبنة، لكن الانتقال المفاجئ من السائل المائي إلى الغاز يقع في صميم كيفية أسلوب القلي، وتحتوي عملية قلي الطعام على صوت القلي المميز «الطشيش». فإذا كنتم تجيدون القلي فلا مفر من ذلك الصوت.

***

يحدث التحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة والعكس طوال الوقت من حولنا، لكننا لا نرى التحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة والعكس في أغلب الأحيان، إذ يحدث الانصهار لمعظم المعادن والبلاستيك بفارق كبير عن درجة الحرارة اليومية. أما انصهار معظم الجزيئات الأصغر مثل الأكسجين والميثان والكحول فيحدث بدرجة حرارة منخفضة كثيرًا، إذ تتطلب لتوفرها أنواعًا خاصة من الثلاجات المبردة (الفريزر). أما الماء فهو جزيء استثنائي، إذ إنه ينصهر ويتبخر عند درجات حرارة تحدث نسبيًا من حولنا بانتظام، لكن عندما نفكر في الماء المتجمد فغالبًا ما نتصور القطبين الشمالي والجنوبي للأرض، فهما مكانان باردان وأبيضا اللون ويرتبط ذكرهما بالرحلات الاستكشافية العظمى التي جرت في القرن العشرين، تلك التي نقلت البشرية نحو أكثر البيئات قسوة على كوكب الأرض، فقد تسبب الماء المتجمد لرواد تلك الرحلات بمشكلات كثيرة لا تُحصى، لكنه في الوقت ذاته قدم حلولًا استثنائية.

يتعلق التحول من الحالة الغازية إلى السائلة بتقارب الجزيئات جنبًا إلى جنب، إلى أن تتلامس في الوقت الذي ما تزال فيه تتحرك بحرية كافية لكي تتدفق فوق

بعضها. أما التحول من الحالة السائلة إلى الصلبة فيتعلق باللحظة التي تُحجز تلك الجزيئات في مكانها، ويُعد تجمد الماء مثالًا شائعًا لهذه الظاهرة، لكن حالة تجمد الماء بحد ذاتها لا يكاد يعادلها شيء آخر، وما من مكان يبرز هذه الغرابة للعيان أفضل من المحيط القطبي الشمالي.

إذا سافر أحدكم إلى أقصى نقطة في شمال النرويج ووقف على الساحل ونظر نحو الشمال الأبعد فسيرى البحر. يُحيي ضوء النهار الذي يستمر ٢٤ ساعة الغابات المتنقلة المكونة من نباتات محيط صغيرة ونباتات موسمية متنوعة تجذب السمك والحيتان والفقمات، وذلك في أثناء شهور الصيف الخالية من الجليد. ثم ما إن يقترب الصيف من نهايته حتى يتوارى الضوء ويختفي، وتبدأ درجة حرارة سطح الماء بالانخفاض، وهي التي لم تبلغ بأقصى درجاتها في ذروة الصيف سوى ٦ درجات مئوية فقط، وتأخذ جزيئات الماء التي تنساب وتتزحلق فوق بعضها بتقليل سرعتها، والماء شديد الملوحة بهذا المكان، بحيث إن درجة حرارته قابلة للانخفاض إلى سالب ١,٨ درجة مئوية ويبقى سائلًا؛ لكن ما يلبث الجليد في ليلة صافية وحالكة الظلام أن يتشكل. ربما تندفع قطعة من الجليد على الماء، وإذا اصطدمت بها أبطأ جزيئات الماء فستلتصقان، لكنهما لن تلتصقا في أي مكان هكذا وحسب، بل يستقر كل جزيء جديد بمكان ثابت قرب جزيئات أخرى، وتحل بلورة محل الجزيئات المتخبطة والمختلطة، حيث تصطف جزيئات الماء المرتبة ترتيبًا منظمًا لتكوّن شبكة سداسية الشكل، وعلى إثر تواصل هبوط درجة الحرارة، تنمو بلورة الثلج.

لعل الغرابة الشديدة في بلورات الماء أن الجزيئات المصطفة بصلابة أصبحت تحتل الآن فراغًا أكبر مما هي عليه عندما كانت تتدفق وتتحرك في الدفء، ووضع الجزيئات على شبكة نظامية، مع أية مادة أخرى تقريبًا، يجعلها تتراص أكثر مما تكون عليه عندما يسمح لها بالطواف بحرية، لكن الماء ليس كذلك، فبلّورتنا التي تكبر وتتنامى أقل كثافة من الماء حولها فتطفو لهذا السبب، والماء يتمدد عندما يتجمد، ولو لم يكن يتمدد لغرق هذا الثلج المتجمد الجديد، ولظهرت المحيطات القطبية بمظهر مختلف جدًا، أما والحال هكذا، فإن درجة الحرارة تهبط أكثر ويتمدد الثلج المتجمد، ويُنشئ المحيط لنفسه غطاءً من الماء الأبيض الصلب.

ثمة كثير من المظاهر المثيرة للإثارة والحماس حول القطب الشمالي المتجمد، كالدبب القطبية والثلج والشفق القطبي ، لكن ثمة قصة بعينها عن التاريخ القطبي،

أعشقها كثيرًا وتتعلق بغرائب تجمد الثلج والعمل بالتوافق مع الطبيعة بدلًا من مناطحتها، تدور القصة حول سفينة صغيرة تنقل الجعة وخرجت سالمة من أكثر الرحلات تميزًا في تاريخ الاستكشافات القطبية، واسم تلك السفينة فرام.

انجذب المستكشفون في أواخر القرن التاسع عشر نحو القطب الشمالي الذي لم يبعد كثيرًا عن البلدان الغربية، أما الأجزاء الشمالية من كندا وجرينلاند والنرويج وروسيا فكلها قد زارها المستكشفون ورسموا معظم أراضيها على الخريطة، في حين ظل القطب الشمالي نفسه لغزًا كبيرًا. فهل هو يابسة أو بحر؟ لم يطأ أحد ذلك القطب، ولذلك لا يوجد جواب على وجه اليقين. لقد استعصت هذه الرحلة على المستكشفين وغلبتهم مرارًا وتكرارًا لأن الثلج البحري ينمو ويتقلص ويغيّر مواضعه، فإذا تغيرت أحوال الطقس يتراكم الثلج البحري فوق بعضه مما يكوّن تلالًا وهزات جليدية، والوقوع في قبضة هذا الجليد قد يؤدي إلى سحق السفن وتحطيمها إربًا. عانت السفينة الحربية الأمريكية جينيت في سنة ١٨٨١ من مصير تكرّر وقوعه لسفن أخرى، فأصبحت محاصرة في الجليد البحري على مقربة من الساحل الشمالي لسيبيريا لشهور عدة، فمع برودة الطقس واحتجاز جزيئات البحر المائية لقعر شبكة الجليد على سطح البحر، فإن الثلج المتمدد قد شدّد من قبضته على هيكل السفينة، وعقب شهور من تنامي الثلج وتقلصه وضغطه ثم خروج السفينة منه، استسلمت سفينة جينيت لقدرها وسُحقت. وقد واجه المستكشفون الذين نجوا وخرجوا من مراكبهم إلى الجليد عدة أخطار؛ منها: ذوبان الجليد ثم فتحه لقنوات ضخمة يستحيل عبورها إلا بقارب. وفي حين لم تبلغ المسافة بين بلدان كثيرة قريبة من الدائرة القطبية سوى مئات الأميال، إلا أن الجليد المتنقل كان عائقًا منيعًا.

جرفت المياه حطام السفينة جينيت عقب غرقها بثلاثة أعوام إلى قرب جرينلاند، وكان كشفًا مفاجئًا لأن الحطام عَبَر القطب الشمالي برمته، وتساءل خبراء علم المحيطات ما إذا كان ثمة تيّار قد خرج من سواحل سيبيريا وانتقل عابرًا القطب الشمالي وواصل طريقه نحو جرينلاند، غير أن فكرةً خطرت على بال عالم نرويجي شاب يُدعى فريدجوف نانسين ؛ ومفادها أنه لو كان بوسعه صنع سفينة تقاوم الجليد لأمكنه أخذها إلى سيبيريا وتجميدها في الثلج حيث غرقت السفينة الأمريكية جينيت، وربما بعد ثلاثة أعوام قد يصل سالمًا إلى جرينلاند، لكن الحاسم في هذه المغامرة أنه قد يمر في طريقه بأقصى القطب الشمالي، فلا ترتيب لرحلة

مرهقة ولا إبحار... بل يترك الجليد والرياح تقوم بهذه المهام وكفى، ولا تشوب هذه الطريقة مشكلة سوى الانتظار. وكوفئ نانسين على فكرته بأن نظر له نفر من الناس بإعجاب كعبقري في حين، وسخر منه فريق آخر ورأوه مجنونًا، لكنه كان عازمًا على الذهاب على أية حال، فقام بجمع أموال وعمد إلى توظيف أفضل المهندسين البحريين في زمانه، لأن السفينة ذاتها لن يكون لها مثيل بين السفن المبحرة على المحيط، وهكذا صُنعت السفينة فرام.

تمثلت المشكلة في تجمّد الماء، فجزيئات الماء لا بد أن تحتل أماكنها في شبكتها الصلبة، وإذا هبطت درجة الحرارة فستتلاصق، أما إذا لم يتوفر لها مساحة كافية للاستقرار في أماكنها الملائمة فستدفع نفسها نحو الخارج باتجاه كل شيء قريب منها لكي تخلق تلك المساحة، وأي سفينة تتجمد في الجليد ستعاني كثيرًا لأن الجليد المتنامي يأخذ باحتلال مساحة أكثر فأكثر، مما يؤدي إلى امتداده للخارج. لا نعلم عن سفينة تمكنت من مقاومة ذلك الضغط، ولم يكن بمعلوم أحد مدى السماكة التي قد يصل لها الجليد في وسط القطب الشمالي. لقد حلت سفينة فرام هذه المعضلة بطريقة بارعة وبسيطة، فقد صُنعت على شكل هيكل دائري وبدين بطول ٣٩ مترًا وعرض ١١ مترًا فقط، وكان لها بدن مقوّس ناعم، وتكاد تخلو من صالب السفينة (عارضة القعر)، وكذلك المحركات والدفة التي أمكن رفعها من الماء. وعندما جاء الجليد أصبحت فرام كالوعاء العائم، فالوعاء أو الأسطوانة على شكل مقوس، وإذا ضُغط وحُشر من الأسفل فسيقفز للأعلى، وإذا زاد الضغط من الجليد على السفينة فرام عن حده فسيدفعها للأعلى لتستقر فوقه، أو هكذا كانت النظرية. صُنعت السفينة من خشب يفوق سُمكه المتر في بعض أماكنها كما صُممت فيها حجرات معزولة لتبقي الطاقم بحالة دفء، فغادرت النرويج في يونيو/حزيران ١٨٩٣ مؤزرة بدعم جماهيري وطاقم مكوّن من ١٣ بحارًا، وشقّت طريقها حول الساحل الشمالي لروسيا إلى أن بلغت الموقع الذي غرقت فيه السفينة جينيت. شاهدت السفينة فرام في سبتمبر/أيلول جليدًا باتجاه ٧٨ درجة شمالًا ولم يمضِ وقت طويل ليطوّقها ذلك الجليد، ومع إطباقه عليها صدرت من السفينة أصوات الصرير وكأنها تنوح ألمًا، لكن مع تمدد الجليد حولها نهضت وانتقلت إلى الأعلى كما كان متوقعًا. مضت في طريقها والبرد القارس يملَؤُها من الداخل.

طفت السفينة فرام على مدار الأعوام الثلاثة التالية على الجليد البحري منجرفة نحو الشمال بسرعة بالغة البطء، وصلت إلى ميل واحد في اليوم. أخذت بعض

الأحيان في العودة للخلف أو الدوران على نفسها في دوائر، وكان الجليد المتجمد والمتقلّب يضغط عليها ثم يتركها، وكانت ترتفع وتهبط حسب استجابتها لوضع الجليد. أما نانسن فقد أبقى أفراد طاقمه مشغولين بإجراء القياسات العلمية، لكن ما لبث الإحباط أن تسرب إلى نفسه بسبب بطء الحركة. عندما وصلت فرام إلى اتجاه ٨٤ درجة شمالًا، كان من الواضح أنها لن تصل إلى القطب الذي أصبح يبعد ٤١٠ أميال بحرية. أخذ نانسن مرافقًا وغادر السفينة وتزلج على الجليد بمحاولة للمضي نحو مسافات لم تتمكن سفينته من قطعها، حيث سجل رقمًا قياسيًا بوصوله إلى نقطة في الشمال لم يطأها أحد من قبله، لكن أفضل رقم سجله كان ينقصه ٤ درجات ليصل إلى أقصى القطب. واصل طريقه عبر القطب الشمالي نحو النرويج ليقابل مكتشفًا آخر عند أرخبيل فرانسوا جوزيف سنة ١٨٩٦. حافظت فرام وطاقمها المؤلف من أحد عشر على خط مسارها، ولم يحملها الجليد إلا لاتجاه ٨٥,٥ درجة شمالًا، أي على بعد عدة أميال قليلة من الرقم القياسي الذي سجله نانسن. و تمكنت السفينة في الثالث عشر من يونيو/حزيران ١٨٩٦ من الخروج بصعوبة من الجليد لتصل إلى شمال جزيرة سبيتسبرغن [النرويجية] كما كان مخططًا لها بالضبط.

مع أن السفينة فرام لم تصل قط إلى أقصى القطب، إلا أن القياسات العلمية التي أجرتها في أثناء رحلتها لم تُقدّر بثمن، وقد علمنا لاحقًا على وجه اليقين عدة معارف مهمة؛ منها: أن القطب الشمالي محيط وليس أرضًا، وأن القطب الشمالي يختبئ تحت جليد بحري لا يتوقف عن التنقل والحركة، وأنه يوجد حقًا تيار يقطع القطب الشمالي بين روسيا وجرينلاند. واصلت فرام عملها لتحمل البحارة على متن رحلتين عظيمتين أخريين، كانت أولاهما الرحلة الاستكشافية ذات الأربعة أعوام والمخصصة لرسم خريطة للقطب الشمالي من الجانب الكندي. ثم حملت السفينة في سنة ١٩١٠ أموندسن وبحارته نحو القطب الجنوبي، حيث سبقوا القبطان سكوت إلى هناك. أما في وقتنا الراهن فتستقر فرام في متحف في أوسلو، حيث يسبغ عليها النرويجيون آيات التخليد كرمز للاستكشافات القطبية النرويجية، وقد وظفت هذه السفينة التمدد الجليدي الذي لا يرحم وركبت عليه بدلًا من الوقوف بوجهه لكي تصل إلى قمة العالم.

إن تمدد الجليد عند تجمده يعد من الظواهر المألوفة أمامنا، لكننا لا نكاد نلاحظه في الوقت نفسه. ضعوا مكعب ثلج في شرابكم وستجدونه يطفو، وهذا من طبائع

الأمور، لكن ثمة طريقة أسهل لملاحظة أن الماء المتجمد ما هو إلا الماء نفسه ولا يختلف سوى أنه يحتل حجمًا أكبر. إذا صببتم ماء في كأس شفافة وأضفتم قطعًا كبيرة من الثلج فسيطفو الثلج ويبقى معظمه تحت السطح، لكن يعلق جزء منه فوق مستوى السائل بنسبة تقارب ١٠ بالمئة، يمكنكم وضع علامة على مستوى السائل من خارج الكأس بقلم مؤشر، والسؤال الذي يطرح نفسه هو: هل سيصعد مستوى الماء أم سينزل عندما يذوب الثلج؟ تُجبَر جميع جزيئات الماء التي تتشبث الآن بمكانها فوق مستوى الماء عندما تذوب على الانضمام إلى بقية الشراب. هل يعني هذا أن مستوى الماء سيرتفع؟ إن هذه الفيزياء تُناسِب حفلة كوكتيل جيدة لو تحليتم بقدر كافٍ من الصبر، أو كان لديكم قدرة على الاستمتاع بدعوة لقضاء وقت بمتابعة الثلج وهو يذوب.

أما الإجابة فهي مباشرة، وعليكم تجربتها بأنفسكم إذا لم تصدقوني. سيبقى مستوى الماء في المكان ذاته بالضبط، وفور أن تصبح جزيئات الماء سائلة مرة أخرى، يمكنها أن تحتشد وتتقارب بدرجة أكبر، وهذا يعني أنها ستشغل بالضبط الفجوة التي كان يحتلها الجزء المغمور من الثلج، فحجم الجزء من مكعب الثلج الذي يقع فوق خط الماء هو بمقدار الحجم الزائد، الذي اكتسبه المكعب بتمدّده في أثناء تجميده، نفسه. لا نستطيع رؤية الذرات نفسها في شبكاتها، لكن بوسعنا أن نشاهد مباشرة المساحة الزائدة التي تتطلبها عندما تتجمد .

يتحوّل الماء من الحالة السائلة إلى الصلبة بطريقة معينة، فلكل ذرة من الذرات موقع ثابت في شبكة. وتُسمى بلورة (كريستال) حتى عندما لا تكون ذلك الجزء اللامع للتاج. والمادة البلورية هي فقط تلك التي لها تكوين متكرر وثابت عندما تكون صلبة، مثل الملح والسكر. لكن يوجد صنف آخر من الحالة الصلبة ليس فيها ذلك التركيب المتكرر، وهذه المواد الصلبة لها تركيب يقترب أكثر من تركيب سائل يتجمد بطريقة أخرى. على الرغم من وضع الذرات على المقياس الذي يتسم بالصغر الشديد بحيث لا نستطيع أن نراه، إلا أن بمقدورنا أحيانًا رؤية التأثير الذي يحدثه في الجسم الذي نمسك به. و يتجسّد أبرز مثال على ذلك في الزجاج.

أتذكر مشاهدتي لنافخي الزجاج لأول مرة في رحلة عائلية لجزيرة وايت في جنوب بريطانيا، عندما كنت في الثامنة من عمري، كنتُ مشدوهة بمشاهدة الكرات الناعمة من الزجاج المنصهر التي تحمر وتُنفخ، فتتغير باستمرار من شكل منتفخ جميل إلى آخر. اضطر أهلي لِجَرّي من ذلك المكان جَرًا لأنني شعرت بسرور

بالغ وأنا أقضي طوال اليوم بمتابعة هذا السحر المتمثل بتدفق السوائل إلى أن تتحوّل إلى مزهريات. مضت أعوام عديدة قبل أن أحقق الشيء الذي أردته فعلًا؛ أن أجرب ذلك بنفسي. وفي صباح يوم بارد من هذه السنة وصلت أنا وابن عمي إلى مخزن حدادة، حيث أسدلوا الستائر وعرضوا لنا كيف يعملون ذلك السحر.

بدأت العملية بحوض من الزجاج المنصهر في فرن صغير، حيث أخذ الزجاج باللمعان بلون برتقالي براق لأنه واقع تحت درجة حرارة مفزعة بلغت ١٠٨٠ درجة مئوية، دفعنا قضيبًا حديديًا طويلًا نحو الحوض وقمنا بلفه، مع ارتدائنا لقفازات (كيفلار) الواقية بطبيعة الحال، فالتفّ الزجاج على قضيب الحديد عند قيامنا بلفّه كما لو أنه عسل. كان ذلك هو الجزء السهل، أما الصعب فهو بقية كل هذه العملية. نفْخُ الزجاج إنما يتعلق بالتحكم الدقيق بتكوين الشكل، وثمة ثلاثة أشكال أساسية لنجاح التشكيل يمكن تطبيقها؛ أولها: تسخين الزجاج لِجعله أنعم. وثانيها: تثبيته بما يسمح للجاذبية أن تشده نحو الأسفل من دون أن نلمسه. أما ثالثها: فيحدث إذا كانت عصا الحديد جوفاء، إذ يمكننا حينها نفخ الفقاعات في الكتلة المستديرة المنصهرة.

تبادلنا الأدوار في صناعة وتشكيل الأشكال الثلاثة كلها، وما يثير الدهشة في الزجاج هو مدى السرعة التي تتغير بها طبيعته. مع إخراج الكرة المنصهرة من الفرن، لا بد من تدوير قضيب الحديد لأن الزجاج أصبح سائلًا فعلًا؛ فإذا توقفنا عن لفه فإنه سَيَسِيلُ على الأرض. وبعد دقيقتين من ذلك تمكّنّا من دحرجة كرة الزجاج على منضدة معدنية، وبَدَت بِتماسك اللدائن. ولم تكد تمضي ثلاث دقائق حتى تمكنّا من ضربه برقة على الدكة، فأَصْدر صوتًا (أشبه بالرنين) كما هو متوقع من سلوك جسم زجاجي صلب. ما يمتِع في الزجاج أن بالإمكان التحكم بالسائل واللعب بالنعومة والتقوس الذي تتيحه السوائل. فالزجاج البارد والصلب إنما هو سائل تقطّع وتجمد مع مرور الوقت كشخصية من قصص الخيال الساحر.

يأخذ الزجاج خاصيته من طريقة حركة الذرات حول بعضها، وأكثر أشكال الزجاج المألوفة لنا، والتي كنا نمارس عليها التجارب؛ هو زجاج الصودا والجير. تتكون في معظمها من السيلكا (ثاني أكسيد السيلكون الذي يتكون منه معظم الرمل، ورمزه SiO2)، لكنها تحتوي داخلها كذلك على شيء من الصوديوم والكالسيوم والألمنيوم. وما يجعل الزجاج مميزًا أن ذراته بدلًا من أخذها أماكن محددة في شبكة نظامية نجدها مبعثرة ومختلطة، وترتبط كل ذرة بالذرات التي من حولها،

ولا تتوفر بينها مساحة شاغرة كثيرة، بل يعم فيها عدم التنظيم. ومع تسخين الزجاج تهتز الذرات وتتذبذب على نحو أكثر، وتبتعد عن بعضها بمقدار طفيف، وبما أنها لم تكن مصطفة بمواقعها بصرامة منذ بدايتها فمن السهولة بمكان أن تنساب ويتجاوز بعضُها بعضًا. وقد تكوّن الزجاج المنصهر، الذي أخذناه من الفرن، من ذرات تحمل من الطاقة الحرارية قدرًا كبيرًا، وقد تنزلق على بعضها إثر شد الجاذبية لها نحو الأسفل، لكن مع برودة الذرات في الهواء تقل حركتها قليلًا، وتسكن وتتقارب رويدًا رويدًا، ويصبح السائل أَمْيَل للّزوجة أكثر.

العنصر الذكي للزجاج يتجلى في أنه فور أن يبرد لا يتوفر وقتٌ كافٍ للذرات للتحرك، فتنتظم في هيئة صندوق بيض اعتيادي، وهذا يعني أنها لا تتحرك، وبالتالي يصبح الزجاج صلبًا عندما يؤدي بطء الذرات الشديد إلى الحد من حركتها حول بعضها، فيمسي من الصعوبة بمكان الجزم بالخط الفاصل بين الحالتين السائلة والصلبة على وجه الدقة.

كانت أولى مهماتنا في نفخ الحديد صنع حلي مزخرفة لكلينا؛ أنا وابن عمي، وتبين أن ذلك مجرد وصف أنيق لنفخ فقاعة الزجاج ثم مراقبة المعلم وهو يربط حلقة من الزجاج المنصهر في قمتها. كان نفخ الفقاعة عملًا صعبًا لأن خدودي آلمتني بعد ذلك، فكنت كمن يملأ بالونة غير قابلة للنفخ بالهواء. أما أكثر أجزاء هذه العملية حساسية فيأتي في آخرها، وذلك عندما يلزم فصل القطعة الأخيرة من الزجاج عن العصا الحديدية، فأقوم بسحب الزجاج وتشكيله حتى يظهر عنق نحيف نريده أن ينكسر، ثم أعمل على تقشير ذلك العنق لأسمح بوجود شروخ صغيرة، ثم آخذها إلى ما يطلقون عليه من باب التسلية «منضدة الضربة القاضية»، فأضرب على العصا الحديدية برفق، فتنكسر فقاعة الزجاج وتنفصل. كل القطع التي عملنا عليها سارت بطريقة ممتازة إلى أن عملنا على القطعة الأخيرة، حينها ظهر أن الشروخ التي صنعناها حديثًا لم تنتظر، فآخر قطع الزخارف سقطت من طرف العصا مع نهاية انتهاء العمل منها، واصطدمت بالأرضية الصلبة، وارتدّت قافزة لمرتين. أسرع المعلم بالتقاطها وكانت حالتها سليمة، لكن هذه القطعة الرقيقة جدًا من الزجاج قد ارتدت قافزة من الأرض، ومن الواضح أنها لو سقطت بعد نحو دقيقة من ذلك عندما أصبحت أبرد بعض الشيء لتحطمت وتناثرت.

ذلك هو الدرس الذي نتعلمه من الزجاج، إذ تعتمد طريقة سلوك ذراته على درجة حرارتها، فعندما تسخن الذرات تصبح قادرة على التدفق بحرية فوق بعضها. وإذا

بردناها إلى الحد الذي لا يجعلها تعلق وتلصق فستعمل الذرات على الضغط معًا والارتداد، فيصبح الزجاج قادرًا على القفز والوثب. أما إن بردناها أكثر من ذلك بقليل فستجمد الذرات وتثبت في مكانها. وأي ذرة تُدفع من مكانها دفعًا طفيفًا ستفتح فجوة في جسم صلب هش وقابل للتفتت، فيمسي الزجاج عرضة للتهشم والتحوّل إلى فتات حاد.

يتمتع الزجاج بقبول كبير لأنه يستحوذ على الجمال المتعرج للسوائل من دون أن نقلق من مكان الحركة الذي يتوجه نحوه السائل. ويمتلك الزجاج التركيب الذري للسوائل – إذ تعج فيه حشود الذرات غير المنظمة – لكنه ذو حالة صلبة قطعًا. أما تقافز الزجاج فهو إفشاء لحالة معينة؛ المرونة ظاهرة تمتلكها الأجسام الصلبة ولا تمتلكها الأجسام السائلة، ويمكننا ملاحظة النتائج المترتبة على ذلك التركيب من خلال نمطية سلوك المادة مع تغيّر درجة الحرارة.

أنتهز الفرصة هنا لتحطيم خرافة سادت ردحًا من الزمن حول النوافذ الزجاجية، إذ يُشاع أحيانًا أنّ السبب في كَون النوافذ التي تصل لعمر ٣٠٠ عام سُمكها أكبر في أدناها من أعلاها؛ يكمن بتدفق الزجاج نحو الأسفل مع مرور الزمن، لكن هذا غير صحيح؛ فزجاج النافذة ليس سائلًا لكي يتدفق إلى أي مكان، بل يكمن السبب في إطار تلك النوافذ التي صُنعت بأسلوب حرفي شديد البراعة، إذ تلتصق الكرة الزجاجية على العصا الحديدية وتُدار العصا بسرعة كبيرة إلى أن يتدفق الزجاج خارجًا ليدخل في قرص مسطح ، ثم يبرّدون هذا القرص ويقطّعونه إلى قطع لصنع إطارات النافذة. الجانب السلبي بهذا الأسلوب أن القرص سيكون دائمًا أكثر سمكًا عندما يقترب من مركزه، ولذلك تُقطع أجزاء إطار النافذة التي تأتي على شكل ألماسي أو على شكلٍ مُعَيّن، ويوضع الجزء الأكثر سماكة في الطرف، وعندما تُركّب في النافذة يوضع الطرف الأسمك غالبًا في الأسفل لتسهيل تصريف ماء المطر. إذن: لم يحرك الزجاج نفسه نحو الأسفل، بل وضعه الحرفيون هناك.

لم يُسمح لكراتنا الزجاجية المنصهرة التي تدربنا عليها أنا وابن عمي أن تبرد فورًا، بل وُضعت في فرن مخصص لتبات فيه طوال الليل، فهو من الأفران التي تعمل على تخفيض الحرارة ببطء وعلى مدار ليلة كاملة إلى تنسجم مع درجة حرارة الغرفة مع حلول الصباح. وسبب ذلك هو أن الزجاج على الرغم من أنه كان صلبًا قبل التسخين إلا أن ذراته هنا غير ثابتة في مكانها إطلاقًا. إذا قمنا بزيادة تسخين مادة معينة، ستتغيّر عملية إعادة الترتيب الذري تغيّرًا طفيفًا، حتى

لو كان تغيير درجة الحرارة غير كافٍ لتحويل الصلب إلى سائل. يحصل الشيء ذاته مع تبريد كرات الزجاج، إذ غيّرتْ الذرات من مكانها بمعدل طفيف. أما سبب استخدام ذلك الفرن فهو للسماح بحدوث إعادة الترتيب الطفيفة على نحو بطيء ومتساوٍ من أجل تركيب الذرات كلها، فإذا ما حدث ذلك بشكل غير متساوٍ فإن قوى عدم التوازن الداخلية ستحطم الزجاج. أعيد التذكير مرة أخرى: هذه القوى الداخلية الزائدة إنما هي نتاج لمبدأ بسيط للغاية، قد تكون مواقع الذرات ثابتة، لكن المسافة بين الذرات المتجاورة ليست كذلك. إذا قمنا بتسخين مادة ما، فستتمدد دائمًا.

***

يحتوي عالم أجهزة القياس الرقمية على مميزات كثيرة، لكنها أحدثت جانبًا سلبيًا مؤكدًا، فقد أصبحنا منقطعين عن معنى القياس الفعلي. إحدى الأدوات التي حزنت لفقدانها هي الترمومتر الزجاجي، وهو أداة أساسية في المختبرات العلمية والبيوت، استُخدم طوال قرنين ونصف القرن. ما زال بإمكانكم أن تشتروه، وما زلتُ أستخدمه في مختبري، غير أن البدائل الرقمية حلت محله في كثير من الأماكن، إذ استبدلوا خيط الزئبق اللامع الذي أتذكره من أيام طفولتي بمادة كحولية ملونة، لكن أساس فكرة النسخة الحديث لم يختلف عن الآلة التي اخترعها دانييل غابرييل فهرنهايت سنة ١٧٠٩، إذ توجد فيه عصا زجاجية ضيقة ذات أنبوب نحيف تمتد حتى منتصف الآلة، ويتوسع الأنبوب في الطرف السفلي ليسمح بوجود كرة دائرية صغيرة؛ ألا وهي خزان السائل.

إذا وضعنا هذا الطرف من الترمومتر في أي شيء، في حوض استحمام أو في إبط الجسم أو في البحر فسنرى شيئا أنيقًا وبسيطًا. إن درجة حرارة أي جسم ترتبط بكمية الطاقة الحرارية التي يمتلكها، ويتم التعبير عن الطاقة الحرارية في الأجسام الصلبة والسائلة حسب اهتزاز الذرات والجزيئات. إذا وضعنا الترمومتر مثلًا في حوض استحمام فإننا نحيط الزجاج البارد بماء ساخن، فتأخذ الجزيئات في الماء بالحركة بسرعة أكبر، وتدفع بالذرات في الزجاج مانحة إياها طاقة للاهتزاز بوتيرة أسرع كذلك، وهذه عملية انتقال الحرارة بالتوصيل الحراري . وبالتالي عندما نضع الترمومتر في حوض الاستحمام، تتدفق الطاقة الحرارية نحو الزجاجة، ولا تتحرك الذرات في الزجاجة لأي مكان، بل تتذبذب وتتململ في هذه البقعة فقط وتهتز من مكان لآخر. ودرجة حرارة الزجاجة إنما هي قياس لذلك

التذبذب. تصبح الزجاجة الآن أكثر سخونة ممّا كانت عليه، ثم تصطدم الذرات في الزجاجة بالكحول السائل إلى أن تبدأ بالاهتزاز بوتيرة أسرع أيضًا. هذا هو الجزء الأول؛ تسخن كرة الترمومتر إلى أن تعادل درجة حرارتها درجة حرارة ما يحيط بها.

عندما تهتز الذرات في جسم صلب بسبب الحرارة الزائدة فإنها تعمل على دفع الذرات القريبة بعيدًا ولمسافة ضئيلة، وتحتل الزجاجة حجمًا أكبر عندما تصبح ساخنة لسبب وحيد يتمثل بحاجة الذرات المتذبذبة لذلك، وهذا يفسر تمدد الأجسام عندما تزداد حرارتها، لكن الحجوم الخارجية لجزيئات المادة الكحولية تزداد مع زيادة سرعتها؛ وبذلك يتمدد الكحول أكثر بثلاثين ضعفًا تقريبًا من تمدد الزجاجة وفقًا لتغيير درجة الحرارة نفسه. تحتل الآن المادة الكحولية مساحة أكبر عما كانت عليه من قبل، لكن الأحجام الزائدة توجد في أعلى الأنبوب، فتهتز الجزيئات في المادة الكحولية في الترمومتر ويدفع بعضُها بعضًا، فيتحرك السائل لأعلى الأنبوب. وترتبط المسافة التي ينتقل إليها بالطاقة الحرارية لجزيئاتها ارتباطًا مباشرًا، فتناظر العلامات في الترمومتر كمية الطاقة الحرارية في السائل. إنها عملية بسيطة ورائعة. عندما يبرد السائل في كرة الترمومتر تأخذ المادة الكحولية حجمًا أقل إثر تقليل سرعة جزيئاتها، وعندما يسخن السائل يأخذ حجمًا أكبر إثر اهتزاز جزيئاته بطاقة أكبر. وبالتالي فإن أية قراءة لمؤشر الترمومتر الزجاجي إنما هي في الحقيقة قياس مباشر لتدافع الذرات نحو بعضها.

يختلف تمدد المواد باختلاف مقادير تسخينها، ولذا يصبح سكب ماء حار على أغطية العلب العالقة مفيدًا، إذ يتمدد الزجاج والغطاء المعدني معًا، لكن المعدن يتمدد بمقدار أكبر من الزجاج، فيسهل إزالته بعد تمدده، حتى وإن كان الفارق في حجمه أصغر بكثير مما يمكن أن تراه عيوننا، إلا أن بوسعنا أن نشعر بالنتيجة.

تتمدد الأجسام الصلبة بدرجة أقل من السوائل على وجه العموم إذا سخنت، ويحدث التمدد بجزء ضئيل للغاية من إجمالي الحجم، لكنه يكفي لإحداث الفارق. عندما تعبرون طريق جسر سيارات مشيًا على الأقدام، ضعوا أعينكم على قطاعات معدنية توجد على طرفي الجسر وتمتد على عرض الطريق، يُرجح أنها مصنوعة من لوحين متشابكين على شكل مشط، إنها وصلة تمددية ، وإذا تذكرتم هذا الشكل، فستلحظون أنه شائع كثيرًا، تتلخص فكرته أنه مع ارتفاع درجة الحرارة وهبوطها، تسمح تلك الأمشاط لمعادن الجسر بالتمدد والانقباض من دون انبعاج أو انفصال،

وإذا تمددت أجزاء الجسر، تُدفع أسنان المشط نحو بعضها لمسافة أكثر؛ وإذا انقبض الجسر فسترجع الأسنان من دون ترك فجوة خطيرة في وسط طريق الجسر.

قد تبدو ظاهرة التمدد الحراري أنيقة ومفيدة في الترمومتر، لكنها ظاهرة لها أحيانًا من المآلات والنتائج على المقاييس الأكبر ما قد ينذر بخطر عظيم، إذ تتجلى إحدى أبرز المشكلات التي يتسبب بها انبعاث غازات الاحتباس الحراري في الارتفاع المضطرد لمستوى البحر، ويُقدّر معدل ارتفاع منسوب البحر العالمي بـ ٣ ملّيمتر تقريبًا سنويًا، وهو يرتفع بسرعة أكبر مع مضي الوقت. وعلى إثر ذوبان الكتل الجليدية والصفائح الثلجية تأخذ المياه التي كانت محبوسة ومنحصرة على اليابسة بالتدفق نحو البحر، مما يؤدي إلى زيادة كمية الماء في المحيطات الكبرى، لكن هذه الصورة تصف نصف الارتفاع الحالي بمنسوب البحر فقط. أما النصف الآخر من القصة فيأتي من التمدد الحراري ذاته، فتعرض المحيطات للحرارة الزائدة يؤدي بها إلى احتلال مساحات أكثر. وأفضل تقدير حالي أن ٩٠ بالمئة من كل طاقة الحرارة الزائدة التي تلقتها الأرض بسبب الاحتباس الحراري قد انتهى به المطاف في المحيطات، وزيادة ارتفاع منسوب البحر هو النتيجة.

***

يعم في شهر أغسطس/آب الهدوء والسكينة على هضبة القطب الجنوبي الشرقية، فبينما ينعم نصف الكرة الأرضية الشمالي بصيف دافئ، يلفّ الظلام الدامس القطب الجنوبي في أدنى العالم، وتقترب في هذا الوقت سلسلة الجبال التي تمتد في الهضبة القطبية من نهاية ليلةٍ استغرقت زهاء أربعة شهور كاملة. لا يهطل سوى ثلج قليل، لكن سطح الجليد ما زال بسمك ٦٠٠ متر. الطقس هادئ، وترشح طاقة الحرارة باستمرار وتفلت نحو الليل المزدان بالنجوم، وما من بزوغ لضوء شمس لتعويضه، ويعني هذا النقص أن درجة حرارة الشتاء على طول سلسلة الجبال العالية تبلغ بانتظام (-٨٠) درجة مئوية. في العاشر من أغسطس/آب سنة ٢٠١٠، هبطت درجة حرارة إحدى سفوح تلك الجبال إلى ما دون (-٩٣) درجة مئوية، وهي أبرد درجة حرارة قصوى سجلتها الأرض على الإطلاق.

تُخزّن الحرارة كطاقة حركة إثر اهتزاز الذرات حول مواقعها المحددة في الجليد الصلب، وذلك من خلال بلورات الجليد التي تصنع الثلوج، فإجابة السؤال: «ما مدى البرد الذي قد تصل إليه؟» تبدو مباشرة كالآتي: لا بد أن تكون أقصى درجة حرارة باردة على الإطلاق هي النقطة التي تتوقف فيها الذرات عن الحركة تمامًا،

لكن حتى في أبرد مكان على وجه الأرض حيث لا حياة ولا ضوء، ما تزال الحركة موجودة.

تتكون الهضبة من ذرات ترتجف بردًا، وحصلت على طاقة حركة تُقدر بنصف ما كانت عليه قبل ذوبان الجليد عند درجة صفر مئوية. ولو أخذنا آخر جزء من تلك الطاقة فستقع تحت أبرد ما يمكن تلقيه. يوجد اسم لهذه الدرجة من الحرارة؛ ألا وهو الصفر المطلق ، ونعرّفه بدرجة (-٢٧٣,١٥) مئوية. ويتشابه هذا الحال مع كل صنف من الذرات وكل ظرف، ويعني أنه لا توجد طاقة حرارة على الإطلاق. وبالمقارنة مع ذلك، يبدو القطب الجنوبي في الشتاء وهو البقعة الأبرد في الأرض دافئًا بالرغم من كل ذلك. من الصعوبة بمكان، وربما لحسن الحظ، إبطاء الذرات حتى تتوقف نهائيًا. ويتطلب الأمر قدرة كبيرة على الابتكار للتأكد من أنه لا يوجد شيء قريب يتخلى عن أيٍّ من طاقته لزيادة حرارة العيّنة التي بحوزتنا، غير أن ثمة علماء يكرسون حياتهم لاختراع أساليب شديدة الذكاء لاستخراج طاقة الحرارة من المادة، وهذا حقل فيزياء الحرارة المنخفضة ، الذي يفتح الباب على مصراعيه لابتكار أجهزة مفيدة حتى في مناطق الأجواء الدافئة حيث نعيش، لا سيما المغناطيسات المحسّنة وتقنيات التصوير الإشعاعي الطبي. على أن معظمنا يجد أن مجرد التفكير بالوقوع تحت البرد الشديد صعب للغاية. إذن، إن مشاهدة البط يتهادى ويتمايل وهو حافي القدمين على الجليد من ضمن الأمور المحيرة والمثيرة للاستفهام.

مدينة وينشيستر من الأماكن اللطيفة في جنوب إنكلترا بما تحتويه من كاتدرائية عتيقة ومستعمرة من المقاهي الإنكليزية الأصلية التي تقدم الكعك المسطح المكتنز على أوانٍ أنيقة. ويمكن لها أن تظهر خلابة في الصيف، حيث تُزهر الوُرود بألوان مختلفة، وتلمع السماء الزرقاء، لتصنع من المكان صورة كالصور البديعة التي نراها في الطوابع البريدية، غير أنني صحبت صديقة لي في أحد السنين إلى هناك، وكان يومًا شتويًا يهطل فيه الثلج، فبدا المكان أفضل وأجمل، فسرنا ونحن نرتدي ما يدفئنا من الأوشحة والملابس الثقيلة إلى آخر الشارع العام حتى وصلنا إلى النهر الصغير وضفتيه اللتين يكسوهما الجليد الصافي. وأكثر ما أحبه في وينشيستر لا علاقة له البتة بالمباني الحجرية أو الملك آرثر أو الكعك. ما جعلني آتي بصديقتي وقطع كل هذه المسافات في يوم قارس البرودة لرؤيته كان شيئًا عاديًا للغاية؛ إنه

البط. قطعنا طريقنا بجلبة عبر الثلج لمسافة قصيرة على طول مسار النهر، فوجدناها أمامنا.

فور أن وصلنا إلى النهر تهادت بطة قادمة من آخر بقع الثلج وقفزت نحو الماء، ثم فعلت بالضبط ما تفعله كل مثيلاتها من حولها؛ واجهت التيار، ثم بدأت بالتجديف بكل حماس، ثم مدت قدميها في الماء من أمامها بحثًا عن الطعام. النهر ضحل جدًا في هذه المرحلة لكن الماء يتدفق بسرعة كبيرة. توجد نباتات تنمو في أسفل النهر وبمتناول البط، لكن يتحتم عليها أن تجدف بعنف للبقاء في مكان واحد لكي تنقب عن الطعام. يُعد النهر في ونشيستر بالنسبة إلى البط كجهاز الجري الثابت والموجود في صالات الرياضة للتدريب على الجري، وأجد ذلك منظرًا مسليًا بلا حدود، فهي تجدف بلا كلل أو ملل، وجميعها تواجه الطريق نفسه، ولا يبدو أنها تتوقف.

تطلعت طفلة تقف بقربنا إلى حذائها الطويل الذي غطته الثلوج ثم أشارت إلى إحدى البطات التي وقفت على الثلج الذي على ضفة النهر، وسألت أمها سؤالًا فائق الوجاهة والذكاء: «لماذا لا تبرد أقدام البط؟» لم ترد أمها على السؤال لأن مسرحية البط الكوميدية بدأت في تلك اللحظة. اقتربت إحدى البطات المجدفات من إحدى البطات الأخريات لتثير بينها أصوات البطبطة والخبط بالماء والنقر. وحدث المشهد الطريف؛ وهو أنه حين اندلاع الشجار بين البطتين، نسيتا أن تجدفا، مما جعلهما تندفعان مع تدفق التيار، وهما تطلقان أصوات البطبطة في طريقهما. أدركتا بعد ثوان السرعة التي تتحركان بها وتركتا شجارهما وأخذتا تجاهدان بالتجديف للعودة إلى أعلى التيار حيث بدأتا، واستغرق هذا وقتًا.

كان الماء يقترب من التجمد، إلا أن البط لم يظهر عليه الشعور بالبرد. تمتلك البطة أسلوبًا مبتكرًا يعمل تحت سطح الماء وتنجح بوساطته بمنع فقدان الحرارة من أقدامها. المشكلة تتمثل بنقل الحرارة، إذا وضعنا جسمًا ساخنًا بجانب جسم بارد، فالجزيئات الأسرع والأكثر حيوية في الجسم الساخن ستصطدم بجزيئات الجسم البارد، فتنقل بذلك طاقة الحرارة من الجسم الساخن إلى البارد. وهذا يفسر أن تدفق الحرارة دائمًا يسير بهذا الاتجاه، الجزيئات التي تهتز ببطء لا تعطي الطاقة إلى الجزيئات الأسرع، لكن العملية سهلة في الاتجاه الآخر. إذن: تتوزع طاقة الحرارة بوجه عام إلى أن تتساوى درجة حرارة كل شيء ويحدث الاتزان، والمشكلة الكبرى التي تواجه البط تتركز في تدفق الدم في أقدامها، فالدم يأتي من

القلب حيث مركز جسم البطة الدافئ بدرجة ٤٠ مئوية، فإذا اقترب هذا الدم من الماء المتجمد، فسيظهر فارق كبير بدرجة الحرارة، مما يؤدي بالدم إلى فقدان حرارته في الماء بسرعة كبيرة، ثم عندما يعود إلى جسم البطة، سيعمل على تخفيض حرارتها بوساطة الدم البارد، وستبرد البطة بأكملها. يستطيع البط تقييد تدفق الدم وحصره في أقدامه قليلًا من الوقت، وبالتالي يصبح هناك دم أقل معرض للتبريد، لكن هذا لا يحل كامل المشكلة. يستخدم البط مبدأ أبسط يتمثل بالآتي: كلما زاد فارق درجة الحرارة بين جسمين عند تلامسهما، زادت سرعة تدفق الحرارة بينهما. وإذا أردنا التعبير عنها بطريقة أخرى نقول: إنه كلما تقاربت درجتا حرارة جسمين أصبح تدفق الحرارة أبطأ من جسم إلى آخر. وهذا المبدأ يعمل على مساعدة البط فعلًا.

في الوقت الذي يواصل فيه البط التجديف المحموم، كان الدم الدافئ يتدفق في شرايين أرجل كل بطة، لكن هذه الشرايين توجد بقربها عروق تعيد حمل الدم إلى القلب من القدم، والدم الموجود في العروق بارد. إذن فالجزيئات الموجودة في الدم الدافئ تدفع جدران الأوعية الدموية التي تدفع بدورها الدم البارد، فيصبح الدم الدافئ المتجه إلى القدم أبرد قليلًا، فيما يصبح الدم العائد إلى الجسم أدفأ قليلًا، وتصبح الشرايين والعروق أبرد بالمجمل في رجل البطة، لكن الشرايين ما زالت أدفأ. إذن: تتدفق الحرارة من الشرايين إلى العروق، ثم تُنقل الحرارة القادمة من جسم البطة على طول رجليها إلى الدم العائد إلى الاتجاه الآخر من دون أن يقترب من قدمي البطة، لكن الدم نفسه يدور على طول هذا المسار، ومع وقت وصول دم البطة إلى قدميها الوتريتين، تصبح درجة حرارة الدم مساوية تقريبًا لدرجة حرارة الماء نفسه. ولأن أقدامها ليست أسخن كثيرًا من الماء، لا تفقد سوى حرارة قليلة، ومن ثم يسخن الدم الصاعد نحو مركز جسم البطة بالتبادل الحراري مع الدم النازل، وهذا ما يطلق عليه المبادل الحراري بالتيار المعاكس ، وهو أسلوب مبتكر ورائع لتجنب فقدان الحرارة. لو تسنى للبطة التأكد من عدم وصول الحرارة إلى قدميها لتخلصت تقريبًا من احتمال فقدان الحرارة بهذه الطريقة، فيطيب للبط بناء على ذلك الوقوف على الثلج لأن أقدامها باردة، وهي لا تكترث لذلك.

لقد تطورت هذه الاستراتيجية مرات عدة بأنواع منفصلة في عالم الحيوان، فللدلافين والسلاحف تصميم متشابه لأوعية الدم في ذيولها وزعانفها، مما يمكنها عندما تسبح في المياه الباردة من المحافظة على درجات حرارتها الداخلية، ولوحظ

هذا كذلك في الثعالب القطبية، فمخالبها على اتصال مباشر مع الجليد والثلج، لكنها ما زالت قادرة على إبقاء أعضائها الحيوية دافئة. إنه نظام شديد البساطة غير أنه كبير النجاعة في الوقت نفسه.

بما أنني وصديقتي غير قادرتين على ممارسة تلك الخدعة المبتكرة، بقينا لفترة محدودة في الثلج، وبعد مشاهدة بعض المشاجرات الطريفة الأخرى للبط السريع، التي عبّرنا من خلالها عن إعجابنا المستحق لأكثر أنواع البط لياقة وحيوية في العالم، ذهبنا للبحث عن كعك كبير.

***

لقد استنتجنا بعد آلاف التجارب التي أجرتها أجيال متعاقبة من العلماء أن الاتجاه الثابت لتدفق الحرارة يظهر كقانون فيزيائي أساسي، إذ تتدفق الحرارة دائمًا من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، وهذا من طبائع الأمور. غير أن ذلك القانون الأساسي لا يشير إلى مدى السرعة التي يحدث فيها هذا الانتقال. عندما نصبّ ماءً مغليًا في كوب من الفخّار فبإمكاننا حمل ذلك الكوب معنا بإمساكه من مقبضه الجانبي وهو ساخن إلى أن يبرد، ولن تحترق أصابعنا لأن المقبض لا يسخن بسرعة، لكن إذا وضعنا ملعقة معدنية في الماء المغلي وأمسكنا بطرفها وانتظرنا لثوان قليلة فسنشعر بشيء من الحرارة المؤلمة. تنقل المعادن الحرارة بسرعة شديدة، غير أن الفخار ينقل الحرارة ببطء شديد، ولا بد أن هذا يعني أن المعادن أحسن في تمرير الاهتزازات من أكثر الجزيئات طاقةً. لكن المعادن والفخّار مصنوعون معًا من ذرات تثبت في مكانها، ولا تتحرك بالاهتزاز إلا حول موقع ثابت. إذن: لماذا يحدث هذا الاختلاف في توصيل الحرارة؟

يوضّح كوب الفخّار ما يحدث عندما نعتمد على كل الذرات الممررة لاهتزازاتها. كما ذكرنا آنفًا، تدفع كل ذرة الذرة التي تليها، وهذه تدفع التي تليها، وهكذا دواليك إلى أن تُمرر الطاقة على طول هذه السلسلة. هنا يتجلى سبب قدرتنا على الإمساك بالكوب من دون أن تحترق أصابعنا أو أيادينا، إن أسلوب تمرير الطاقة يتسم بالبطء، وأكثره سيضيع في الهواء قبل حتى أن يلمس اليد. والفخّار، مثله مثل الخشب والبلاستيك، يُصنّف ضمن الموصلات الضعيفة للحرارة.

لكن للملعقة المعدنية طريق مختصر، فمعظم الذرات في المعدن محجوزة في أماكنها كما في الفخّار، أما الفرق فهو أن لكل ذرة معدن عددًا قليلًا من الإليكترونات حول حافتها، وهي غير مرتبطة بها بإحكام، سنتطرق لموضوع

الإليكترونات لاحقًا في الكتاب، لكن ما يهمنا هنا أن الإليكترونات جسيمات صغيرة مشحونة بشحنات سالبة، وتستقر في حشد في المنطقة الخارجية من كل ذرة، وهي محبوسة في الفخّار في أماكنها، أما في حالة المعدن فلها حرية التبادل والتنقل بين الذرات المجاورة. إذن: بينما يتحتم على ذرات المعدن نفسها الاستقرار في مواقعها الشبكية، يمكن لهذه الإليكترونات التي تتمتع بالحرية التجوّل عبر التركيبة الذرية بأسرها، فتكوّن نتيجة لذلك سحابة من الإليكترونات التي تتشارك فيها ذرات المعدن كلها، ولها قدرة مطلقة على الحركة والتنقل. وهذه الإليكترونات هي أساس توصيل الحرارة في المعادن، لا سيّما أنه فَوْر أن نصب الماء المغلي في الكوب، تعمل جزيئات الماء على تمرير بعض من الطاقة الحرارية إلى جدران الفخّار، ثم يُمرّر ذلك ببطء عبر الكوب مع اصطدام جميع الذرات ببعضها، لكن فور أن يلامس الماء الساخن الملعقة، تقوم الأخيرة بتمرير اهتزازاتها إلى كلٍ من ذرات المعدن الثابتة وسحابة الإليكترونات. إن الإليكترونات متناهية الصغر، ولها القدرة على الاهتزاز والحركة الخاطفة عبر تركيبة ما بسرعة كبيرة. وهكذا بينما نمسك بالملعقة بإحكام، تنقل الإليكترونات الضئيلة نفسها داخل المعدن ممررة بذلك الاهتزازات الحرارية أسرع بكثير مما تفعله ذرات المعدن بأسرها. وما يجلب الطاقة الحرارية إلى أعلى الملعقة بسرعة كبيرة هي سحابة الإليكترونات، وتعمل في أثناء ذلك على تسخين بقية المعدن مع مسار حركتها. يُعد النحاس المعدن الأفضل لأداء هذه العملية بفارق كبير عن غيره من المعادن؛ إذ يتمتع بقدرة توصيل للحرارة تفوق ملعقة الفولاذ بخمسة أضعاف، لهذا السبب تُصنع أحيانًا مقالي الطبخ من قواعد من النحاس ومقابض من الحديد، فالمطلوب هو توزع الحرارة على الطعام توزيعًا متساويًا وسريعًا، مع الحرص على عدم تسرب الطاقة الحرارية إلى المقبض.

عندما ننتهي من إثبات وجود الذرات يتبادر إلى الأذهان السؤال البدَهيّ عما هي بصدده في مختلف الأوضاع والحالات، مما يقود مباشرة إلى إدراك حقيقة الطاقة الحرارية. غالبًا ما نتحدث عن الحرارة كما لو أنها من الموائع التي تتدفق عبر الأجسام من حولنا أو فيها أو خارجها، لكنها في الحقيقة ليست سوى طاقة حركة تتم مشاركتها إثر اتصال الأجسام بين بعضها، أما درجة الحرارة فهي مقياس لتلك الطاقة الحركية. بوسعنا التحكم بكيفية مشاركة الطاقة من خلال استخدام مواد تعمل بوصفها موصّلات جيدة للحرارة مثل المعادن، أو موصّلات ضعيفة للحرارة

مثل الفخّار. عندما نتطلع إلى مسألة التحكم بالحرارة والبرودة في مجتمعنا، يبرز نظام فوق كل ما عداه ليشكّل فارقًا مهمًا في حياتنا، نقضي نحن بني البشر وقتًا كثيرًا بالحرص على إبقاء أنفسنا دافئين، لكن عندما يتعلق الأمر بالأطعمة والعقاقير الطبية يتبين أننا نمتلك بنية تحتية كبرى غير مرئية للحفاظ على برودة الأشياء، فلننهِ هذا الفصل بإلقاء نظرة على الثلاجات والمبردات.

لو أن قطعة من الجبن سخنت وتسارع رقص جزيئاتها، فسيتحصل في النظام طاقة إضافية، مما يعني وجود طاقة متاحة لحدوث تفاعلات كيميائية. وهذا يؤدي في حالة الجبنة إلى منح الفرصة لأية ميكروبات مستقرة على السطح لزيادة نشاط مصانعها الداخلية وبدئها بعملية التعفن، هنا تبرز أهمية التبريد بالثلاجات وفائدتها. إذا عملنا على تبريد الطعام ستقلل الجزيئات من سرعتها ولا تتاح نتيجة لذلك الطاقة التي تتطلبها الميكروبات لنشاطها. لذلك ستبقى الجبنة صالحة لمدة أطول بكثير في الثلاجة مقارنة بوجودها في درجة حرارة الغرفة، إذ تقوم الثلاجة بتبريد الهواء داخلها من خلال توليد هواء ساخن خارجها ، وذلك عبر آلية ذكية تعمل خلفها، ويسمح لنا التبريد بحفظ الأطعمة لأنه يقيّد من كمية التغيير الذي قد يطرأ على الجزيئات.

تخيلوا الحال الذي قد تكون عليه الحياة من دون تبريد الثلاجات؛ لن يتوقف الأمر عند حد عدم وجود مثلجات أو مرطبات باردة، بل يتعداه إلى اضطرارنا إلى الإكثار من التردد على السوق لأن أية خضروات نشتريها لن تدوم، وسنضطر لذلك أن نكون قريبين من مزرعة إذا أردنا الحليب أو الجبن أو اللحم، وأن نكون قريبين جدًا من المحيط أو النهر إذا أردنا السمك، ولن نحصل على مكونات سلطة طازجة إلا في مواسمها. بمقدورنا حفظ الأطعمة عبر التخليل أو التجفيف أو التمليح أو التعليب، لكن لن يفيدنا كل هذا إذا أردنا طماطم طازجة في شهر ديسمبر/كانون الأول.

تدعم كل الأسواق المركزية التي نراها سلسلة وتجهيزات ضخمة من المخازن والسفن والقطارات والطائرات المبردة، فالتوت الذي يُزرع في مدينة رود آيلاند في شمال شرق أمريكا يمكن أن يُباع في ولاية كاليفورنيا في أقصى غربها بعد أسبوع من قطفها، إذ منذ اللحظة الأولى التي قُطفت فيها من شجيراتها إلى اللحظة التي وضعت فيها على رفوف السوق المركزي، لم يُسمح لها بتلقي طاقة كافية من محيطها تعمل على تسخينها. نستطيع أن نثق أن أطعمتنا صالحة للأكل لأن

الطاقة الحرارية منعت من الوصول إليها وهي في طريقها إلينا. والمسألة لا تقتصر على الطعام فحسب، إذ تعتمد عقاقير طبية صيدلية كثيرة على حفظها باردة أيضًا. فاللقاحات على وجه التحديد معرضة للضرر والتلف إذا سخنت، وإحدى المشكلات في أخذ اللقاحات في بلدان العالم النامي أنها يجب أن تحفظ باردة طوال الوقت من دون وجود أجهزة تبريد كافية وذات كفاءة في هذه البلدان. وتظهر الثلاجات والمبردات التي نراها في مطابخنا وعمليات جراحة الطب كآخر مرحلة ضمن سلسلة طويلة تمتد في أرجاء كوكبنا من التبريد، حيث ترتبط فيها المزارع والمدن، والمصانع والمستهلكين. عندما نسخّن الحليب لصنع شيكولاتة ساخنة فهذه هي المرة الأولى التي يسخن فيها الحليب منذ عملية بسترته بعد حلبه من البقر مباشرة. وهكذا، عندما نثق أنه من الآمن تناوله، فإننا نثق كذلك بسلسلة التبريد الطويلة التي جلبته إلى أيدينا. لقد جُرّدت الذرات في الحليب من الطاقة الحرارية طوال مراحل تلك السلسلة بقصد إغلاق الطريق تمامًا على أية تفاعلات كيميائية تفسد الحليب. إن منع الذرات من الحصول على طاقة حرارية زائدة عن اللزوم هو ما يحفظ طعامنا سليمًا. عندما تضعون مكعب ثلج في شراب، شاهدوه وهو يذوب وتخيلوا اهتزازات ذرية صغيرة تعمل على توزيع الطاقة فيما بينها إثر تدفق الحرارة من الماء إلى مكعب الثلج. ومع أنكم لا تستطيعون رؤية الذرات بعينها، إلا أنه بوسعكم رؤية النتائج التي تحدثها من حولكم.

الفصل السابع: الملاعق والحلزونيات وقمر سبوتنيك قواعد الدوران

الظاهرة اللطيفة في الفقاعات أننا نعرف أين نجدها دائمًا، إنها في الأعلى، فهي إما أن تتحرك صعودًا كأن تتذبذب وتتراوح عاليًا من خلال أحواض سمك الزينة أو حمامات السباحة، أو أن تتجمع معًا على سطح السوائل الكحولية. تجد الفقاعات طريقها بكفاءة نحو أعلى نقطة في السائل الذي توجد فيه، لكن إذا قلّبتم كوبًا من الشاي أو القهوة بملعقة أو عود خشبي مثلًا، ألقوا نظرة على ما يجري على السطح، ستلاحظون أن أول الأمور الغريبة التي تحدث هي أنه فور تحريكنا للملعقة حركة دائرية يكوّن السطح فجوة، ومع حركة السوائل دائريًا يهبط وسط الشاي وتصعد حوافه، أما الأمر الغريب الآخر فهو أن الفقاعات في الشاي تدور بهدوء في أسفل تلك الفجوة، وهي لا تتبوأ مكانها في أعلى نقطة من الشاي وهي عند الحواف، بل تختبئ في أدنى نقطة على السطح وتبقى هناك. إذا دفعناها جانبًا ستعود إلى مكانها الذي كانت عليه، أما إذا صنعنا فقاعات جديدة على الحواف فستتحرك حركة حلزونية نحو المنتصف. هذا غريب!

عندما أبدأ بتقليب الشاي فأنا أمارس ضغطًا على السائل بالملعقة، فأنا أدفعه إلى الأمام، لكنه ما يلبث أن يصل إلى حد معين قبل أن يواجه جانب الكوب. لو قمتُ بالشيء نفسه بملعقة في حمام سباحة، فسيتحرك الماء الذي أمام الملعقة قدمًا إلى الأمام حتى يختلط ببقية الماء في حوض حمام السباحة، لكن في حالة الكوب، لا تتوفر مساحة كافية لحدوث ذلك، ومع أن جانب الكوب لن يتحرك إلى أي مكان، إلا أنه ما زال بإمكانه دفع مضاد بوجه أي سائل يندفع باتجاهه، إنه كالجدار الذي لا يستطيع الشاي عبوره. وبما أن الشاي ليس بمقدوره المضي بخط مستقيم، فإنه يدور بحركة دائرية داخل الكوب، لكن مع تواصل تلك الحركة فإنها تقوم في الوقت نفسه بالتراكم مقابل الجدران لأن جانب الكوب وحده القادر على الدفع المضاد، لذلك سيعمل الشاي على مواصلة التحرك في خط مستقيم، ولا يتحرك دائريًا إلا لأنه مُجبر على الانحناء.

نتعلم من ذلك أول درس عن دوران الأجسام، وهو أننا إذا حررناها فجأةً من تقييدها فستستمر بالحركة في الاتجاه ذاته الذي كانت تمضي فيه لحظة تحررها. تخيلوا لاعب رمي قرص [في رياضة ألعاب القوى] يدور بجسمه وهو ممسك

بالقرص، سيتحرك القرص عدة دورات بسرعة فائقة، لكنه مع ذلك يبقى في دائرته لأن اللاعب يمسك به بإحكام، لذا يتحتم على هذا الرياضي أن يشدّه باستمرار نحو مركز الدوران، ويقع هذا الشد على طول ذراعه. وفي الثانية التي يفلت فيها اللاعب القرص ينتقل الأخير بخط مستقيم بالاتجاه والسرعة اللذين كان عليهما قبل إطلاقه.

تنشأ فجوة في وسط كوب الشاي مع تقليبي له لأن كل جزء من الشاي يسعى للحركة بخط مستقيم، لكن هذا يجعلها تشكل ضغطًا على جوانب الكوب، ولذلك لا يتبقى سوى قليل من الشاي في الوسط. وعندما أكف عن التقليب تظل الفجوة لأن السائل ما يزال يدور، لكن مع انخفاض سرعة الالتفاف، فلا يتطلب الأمر سوى دفعة صغيرة للمحافظة على الشاي في حالة الدوران، ومن ثم لا يوجد سوى تكدس قليل عند الجوانب. بمقدوركم رؤية كل هذه المظاهر في السائل بسبب تمتعه بحرية الحركة، فيصبح قادرًا بالتالي على تبديل شكله.

تلف الفقاعات بعيدًا في وسط الدوائر، ويكشف لنا وجودها في الوسط أنه أقل مكان تفضل الوجود فيه. عندما يوضع كأس من الجعة على طاولة، تصعد فقاعاته إلى الأعلى لأن الجعة هي التي تكون لها الغلبة في الاقتراب من أسفل الكأس، وهذا ينطبق على كوب الشاي. تكون الفقاعات في الوسط لأن الشاي هو الذي تكون له الغلبة بالابتعاد عن الجوانب. السائل أكثر كثافة من الغاز، فينجرف الغاز إلى المساحة الشاغرة أو المتروكة.

تحفل حضارتنا بالأشياء التي تدور، كمجففات الملابس ورماة الأقراص والفطائر المقلوبة وأجهزة المدوار، بل إن الأرض ذاتها تدور حول نفسها في أثناء دورانها حول الشمس. الدوران مهم للغاية لأنه يسمح لنا بالقيام بأشياء مفيدة كثيرة تنطوي أحيانًا على قوى هائلة وطاقة محتشدة، كلها تتحرك من دون أن تغيّر مكانها. أسوأ ما يمكن أن يحدث للجسم الذي يدور أنه سينتهي به المطاف حيث بدأ، أما الفقاعات في الشاي فهي محض بداية. يفسر هذا المبدأ كذلك أسباب مظاهر عدة كعدم إطلاق الصواريخ من القارة القطبية الجنوبية وقياس الأطباء لمستوى كرات الدم الحمراء عند المرضى. ويؤدي الدوران دورًا مهمًا كذلك في شبكاتنا الكهربائية في المستقبل، وتنبع كل هذه الإمكانيات من عملية تقييد واحدة، ألا وهي أن الشيء الوحيد الذي لا يمكن فعله عند الدوران هو التحرك بخط مستقيم.

إذا تحرك أحدكم بسرعة كبيرة حول دائرة فلا بد أن شيئًا ما يقوم بسحبك أو دفعك نحو الداخل مجبرًا إياك على تغيير اتجاهك باستمرار، وينطبق هذا على كل جسم يدور مهما كان الوضع. لو أزيلت تلك القوة الزائدة فستواصل الحركة في خط مستقيم، فإذا أردت التحرك في دائرة فلا بد من أن يتوفر لك شيء يزودك بدفعة زائدة نحو الداخل. كلما زادت سرعة حركتك تحتم أن تكون تلك الدفعة بمقدار أقوى، لأنه كلما زادت سرعتك للانحناء، زادت القوة المطلوبة لتنفيذ ذلك. تعشق الجماهير الرياضية ميادين السباق الجيدة التي تتمتع بالفائدة المذكورة من دوران الأجسام، فبالإمكان إنجاز سرعات هائلة من دون أن يغير المرء مكانه، وبالتأكيد ليس إلى مكان لا يستطيع الجمهور الذي دفع التذاكر أن يتابع منه. صُمّم مضمار السباق الذي يجري فيه المتسابقون في دوائر بأطوال كبيرة، حتى يحصل المتسابقون على قوة دفع للداخل، بحيث تكون كافية لبقائهم في المسار الدائري، وتعد سباقات الدراجات مثالًا جيدًا لذلك، لكن في الحقيقة ليست المسافات الطويلة هي ما أفزعني عندما حاولت ممارسة تلك الرياضة... بل شدة الانحناء.

لطالما شعرت بالحماس عند ممارسة ركوب الدراجات طوال حياتي، غير أن هذه التجربة أمر مختلف تمامًا على أرض الواقع. تبدو الأجزاء الداخلية في مضمار لندن الأوليمبي براقة وواسعة ويسودها هدوء غريب، وعند ظهورنا وسط ذلك الهدوء يعطوننا دراجة هزيلة تحتاج مجهودًا ومهارة لركوبها، ومجهزة بمقود وبلا كوابح، وبمقعد يُعد من أكثر المقاعد المتعبة التي جلست عليها في حياتي. عند تجميع فريق من المبتدئين من أمثالنا، نهرع خارجًا نحو المضمار ونضع أنفسنا على مسار السباق في الوقت الذي نثبت فيه أقدامنا على دواسات الدراجة. بدا المضمار في عيوننا ضخمًا، ويوجد عليه جانبان مستقيمان طويلان ثم الأقسام المائلة للأسفل عند كل طرف من الأطرافأطراف التي تعلونا، كانت منحدرة جدًا (٤٣ درجة في بعض الأماكن)، بحيث إن المصمم كأنه قصد أن يبني جدارًا! تبدو ممارسة ركوب الدراجات في هذا المكان بعينه أكبر خطأ قد يرتكبه أحدنا. لكن فات الأوان على فريقنا المسكين الآن. المضمار بانتظارنا!

بادئ ذي بدء، أرسلونا نحو المنطقة البيضاوية المسطحة التي تستقر داخل المضمار الأساسي، وكان سطحها مستويًا وجميلًا، مما جعل من ركوب الدراجات يبدو منطقيًا هنا، ثم طلبوا منا التحرك نحو الشريط الأزرق الفاتح الذي يوجد فيه

أول مسار منحدر خفيف. وبعد ذلك، حينها كنا نشعر كأننا أفراخ تُدفع لتخرج من أعشاشها لتتعلم الطيران، أمرونا بأن نواجه معترك المضمار الأساسي.

واجهتني مفاجأة قبيحة لأول وهلة، فقد تصورتُ أن الميل سيكون متدرجًا، لكنه لم يكن كذلك، فالمسار المنحدر في الأسفل شبيه بمثيله الذي في الأعلى، وفور أن نبتعد عن المسار الداخلي نحو الخارج على سطح السباق فإننا نركب الدراجة على مسار شديد الانحدار، وبدا لي الإسراع بدواسة الدراجة فكرة جيدة، لكن لم يحدث هذا إلا لأنني أجبر دماغي على أن يسمح للمنطق باتخاذ القرارات، في حين ينشغل بالتظاهر أن غريزتي غير موجودة، ونسيت شعوري الغبي بعدم الارتياح من مقعد الدراجة بعد أول ثلاث دورات. مضينا جولة تلو الأخرى، حتى أصبحنا كالجرذان المجنونة التي تجري في عجلة ضخمة، ونتوقف مؤقتًا بين الحين والآخر ليتفقد المعلمون أوضاعنا. أمضيت خمسًا وعشرين دقيقة في المضمار، وما زلتُ مرعوبة، لكنني كنت أتعلم.

تتلخص فكرة اللعبة هنا في أننا نريد للدراجة أن تميل نحو الداخل كثيرًا، بحيث تصبح متعامدة مع المضمار. والوسيلة الوحيدة لتحقيق ذلك من دون الانزلاق بالمنحدر هي الانطلاق بسرعة، لأننا حينئذ نكون كالشاي الدوّار. ترغب الدراجة بمواصلة سيرها بخط أفقي مستقيم، لكن يتعذر عليها ذلك لأن ما يواجهها مضمارٌ مُنْحَنٍ. ويوفر هذا الدفع المضاد من المضمار القوة الداخلية التي تجعلنا نتحرك دائريًا، وتدفع الدراجة نحو المضمار بقوة، بحيث إننا عندما نضيف ذلك الدفع إلى الجاذبية يصبح الأمر كما لو أن الجاذبية قد غيرت اتجاهها، فأصبحنا الآن ننجذب للمضمار بدلًا من الانجذاب نحو الأسفل إلى مركز الأرض. وكلما أسرعنا بالدراجة، تغير اتجاه تأثير الجاذبية. ما زلنا نشعر وكأننا نقود الدراجة على جدار، لكنه على الأقل جدار نلتصق به عبر شيء نشعر أنه مألوف.

فهمتُ النظرية، بيد أن الممارسة شيء آخر؛ فأولًا لا يوجد مجال للراحة ومن غير الممكن وقف حركة بدالات العجلات لأنها لا تتحرك بحرية. فمع دوران العجلتين لا بد أن تدور رجلاك معهما، هكذا هو الحال. أتوقف من حين إلى آخر بدافع من غريزتي إن احتجتُ لبضع ثوان أرتاح فيها على الطريق فتكافئني دفقة من «الأدرينالين» حين تدفعني الدراجة بعيدًا عن المقعد. لا يمكن ترك العجلتين تتحركان وحدهما في هذا النوع من الدراجات على الإطلاق، إذ يتحتم على اللاعب الاستمرار بالانطلاق مهما كانت أرجله تشعر بالتعب، وإذا خفف من سرعته

فسينزل من أعلى المنحدر. شعرتُ باحترام خاص للرياضيين الذين يمارسون هذه اللعبة بانتظام، ثم لا ننسى المتنافسين الآخرين على المضمار، فإذا تحرك اللاعب لتجاوز أي منهم فسيقطع مسافة أطول ولذلك يتعين عليه زيادة سرعته كثيرًا لعله يحظى بفرصة، أما أنا فكنتُ راضية تمامًا بعدم الإكثار من التجاوز.

الدرس الذي نستفيده من كل هذا أننا إذا قمنا بالأشياء على وجهها الصحيح، فإن المنعطفات الأكثر انحدارًا ستعطينا دفعًا أقوى نحو الداخل، والسبب الذي يجعلنا نحتاج ذلك الدفع على الأطراف لا على الجوانب الداخلية يكمن في أن الأطراف شبه الدائرية هي المكان الذي يتغير فيه الاتجاه. وكلما أسرعنا بتغيير الاتجاه، احتجنا إلى دفع أكبر لتنفيذ ذلك. أما إذا حاولنا الإسراع بالدراجة بهذه السرعة على مضمار مسطح سننزلق إلى الجوانب، فاحتكاك إطار العجلات وحده لا يزودنا بذلك الدفع الداخلي. ما يحصل في مضمار السباق يوضح ما يحدث عندما لا تسمح لعبة ركوب الدراجات أن يقيد الاحتكاك حاجتها للسرعة داخل الملعب.

لو أراد أحدنا معرفة شعور أن يكون كالعملة المعدنية التي تتدحرج على صندوق التبرعات المصنوع على شكل دوامة، فسيكون شعوره كما حصل لي عند ركوب الدراجة في ذلك المضمار. بعد ساعة من ممارسة ركوب الدراجة، أخذ تحفيز الأدرنالين يحرقني حرقًا وشعرت بسرور بالغ عندما توقفنا . الشيء المفزع في تأثير الجاذبية التي تشدني نحو المضمار هو إدراكي أنني في حال تخفيفي للسرعة فجأةً فسيتغير تأثير الجاذبية، فالجاذبية المتوجهة نحو الأسفل فكرة غير مريحة عندما نقود دراجة على جدار يميل انحداره ٤٣ درجة.

يدفع المضمار راكب الدراجة نحو الداخل بالطريقة ذاتها التي تدفع بها الأرض باتجاهنا، ولو اختفت الأرض من تحتنا فجأة فسنسقط لأن الجاذبية تسحبنا نحو الأسفل. إذن فالأرض نفسها تدفع باتجاهنا لمقابلة شد الجاذبية نحو الأسفل. يشعر الدرّاجون أن المضمار يدفعهم نحو الأعلى، وكذلك يدفعهم نحو الداخل. وإجمالًا يشعرهم هذا الأمر وكأن الجاذبية تسحبهم نحو الأسفل، ونحو الخارج أيضًا.

تقام منافسة لركوب الدراجات في المضمار، ويطلق عليها «سباق تحليق كسر الزمن لمسافة ٢٠٠ متر»، وأجزم أن فيه شعورًا بالتحليق حقًا، مع أنهم أطلقوا عليه هذه التسمية لأن المتنافسين يبدؤون السباق وهم ينطلقون بسرعة معينة قبل انطلاق إشارة البدء. أما الرقم القياسي العالمي وقت كتابتي لهذه السطور فمسجل باسم فرانسوا بيرفيه وهو ٩,٣٤٧ ثانية، وهذا يعادل ٢١ مترًا لكل ثانية، أو ٤٨

ميلًا في الساعة تقريبًا. وحين يدور حول طرف المضمار بتلك السرعة، لا بد أن المضمار سيدفعه نحو الداخل بقوة مماثلة تقريبًا لدفع أرض ميدان السباق نحو الأعلى. وكأن فرانسوا ملتصق بالمضمار بقوة تكاد تعادل ضعفي قوة الجاذبية الطبيعية.

كما شهدنا في الفصل الثاني، إن القوة الثابتة مثل الجاذبية مفيدة لجميع أنواع الأشياء، مع أن بعضها (عزل أو فصل القشدة) يستغرق مدة طويلة، لكن الدوران يقدّم لنا بديلًا. فلسنا مضطرين مثلًا للانتقال إلى كوكب جديد لقطف ثمار جاذبية مرتفعة، إذ بمقدور راكبي الدراجات الوصول لمضاعفة تأثير جاذبيتهم في أعلى المضمار، لكن حتى أفضل درّاج مضمار في العالم لا يستطيع تخطي حاجز الخمسين ميلًا في الساعة. على أنه بالإمكان -نظريًا- مواصلة الدوران بأسرع ما يمكن فتستمر القوى بالتّنامي أكثر فأكثر.

أعود بكم بالذاكرة إلى عملية مساعدة قوة الجاذبية لفصل قطرات القشدة عن بقية الحليب وصعودها لأعلى القنينة في الفصل الثاني، لو أن القوة التي تسحب الحليب نحو الأسفل تعادل قوة الجاذبية فقط، لاستغرق الوقت من القطرات الدسمة بضع ساعات ليكتمل فصلها من الحليب. لكن لو وضعنا الحليب في أنبوب طويل دوّار وقمنا برجه بسرعة فسيصبح الدفع نحو الخارج من القوة بحيث إن قطرات القشدة ستنفصل في غضون ثوان قليلة، وهكذا يتم عزل كل القشدة من الحليب في أيامنا هذه، فهم لا يتركونها وينتظرون حتى تنفصل من تلقاء نفسها، إذ ليس لدى أدوات إنتاج الطعام الحديثة الوقت الكافي لذلك. يولد تدوير شيء أو جسم ما دفعًا يمكن أن تصل قوته حسب الدرجة التي يريدها من يقوم بالتدوير، طالما يمارس تدويرًا بقوة كافية. هذه هي فكرة عمل جهاز الطرد المركزي ؛ ذراع دوّار يمسك بشيء ويشده للداخل ليجعله يدور، مما يجعل الجسم يبدو وكأن قوة شديدة تسحقه مقابل جانب خارجي.

بمقدورنا جعل هذه القوة الدوّارة الداخلية شديدة القوة، بحيث إن الأجسام التي تقاوم العزل في ظل الجاذبية وحدها تصبح قابلة للفصل. على سبيل المثال: لو أن أحدًا أجرى فحص فقر دم، فسيضع خبير المختبر عينة من الدم في جهاز طرد مركزي، ويقوم بتدويره بسرعة عالية، بحيث يواجه قوة خارجية تساوي ربما عشرين ضعفًا من قوة الجاذبية، وكرات الدم الحمراء أصغر بكثير من أن تُفصل في ظل الجاذبية تحت أية أوضاع طبيعية، لكنها لا تستطيع مقاومة القوى التي

يولّدها الطرد المركزي، ولا تستغرق في ظل هذه الظروف سوى خمس دقائق لكي تُسحب معظم كرات الدم الحمراء نحو الخارج من مركز الطرد المركزي نحو أسفل الأنبوبة. ولهذه الكرات كثافة أكبر من السائل الذي يحتويها، فتكون لها الغلبة في قعر الأنبوبة، وفور أن تتجمع كل الكرات فيها يمكن رفع الأنبوبة وقياس نسبة الدم المكوّن من كرات دم حمراء مباشرة، وذلك عبر قياس سماكة الطبقة السفلى فحسب. إنه فحص بسيط يمكن له أن يؤشر إلى مدى المشكلات الصحية التي قد يعانيها المريض، وتستخدم هذه العملية كذلك لفحص دم الرياضيين في اختبار تعاطي المنشطات. لو لم توجد القوى التي يولّدها الدوران، لأمسى من الصعوبة بمكان إجراء هذا القياس، ولَأصبح تنفيذه عملية باهظة التكاليف. كما أن هذه القوى يمكن أن تنطبق على أشياء أكبر من عينات الدم، أما أحد أكبر أجهزة الطرد المركزي في العالم فهو مصمم لتدوير كائن بشري كامل.

يحسد أناس كثيرون رواد الفضاء على مغامراتهم، وما يرونه من مناظر كوكبنا المدهشة من خارج الأرض، والأدوات والألعاب التقنية التي يلعبون بها، والقصص الخلابة الكثيرة التي يحكونها عن مغامراتهم، وعبارات المديح التي يتلقونها على توليهم أندر الوظائف وأصعبها استحقاقًا في العالم. لكن إذا سألنا معظم الناس عن أكثر شيء يحسدون الرواد عليه فتكاد الإجابة أن تكون واحدة؛ انعدام الوزن. كل هذا الطفو في الفضاء من دون أن يشكل ما هو «أعلى» أو «أسفل» مشكلة، يبدو مثيرًا للحماس كثيرًا ومريحًا جدًا. لذلك قد يبدو غريبًا احتياج روّاد الفضاء في تدريباتهم إلى أن يكونوا على أهبة الاستعداد للمشكلة المعاكسة، ألا وهي ظهور القوى التي تفوق الجاذبية وتتجاوزها إلى حد بعيد. الطريقة الوحيدة الحالية لبلوغ الفضاء هي الجلوس على قمة صاروخ ينطلق بتسارع وسرعة كبيرة. الأسوأ من ذلك هو العودة إلى الأرض، حيث يمكن أن تولد العودة إلى الغلاف الجوي للأرض قوى تفوق قوتها من أربعة إلى ثمانية أضعاف قوة جاذبية الأرض، وهو نوع القوى التي يواجهها طيار الطائرة المقاتلة عند قيامه بدوران في دوائر صغيرة بسرعة عالية.

إن كنت أيها القارئ الكريم ممن يشعرون قليلًا بالغثيان عند ازدياد سرعة المصعد الكهربائي، فلعل الآتي لا يصلح لك. اعتمادًا على اتجاه قوة التسارع الإضافية، سيُدفع الدم الزائد نحو الدماغ أو بعيدًا عنه، بل ربما يفجر أوعية الشعيرات الدموية الصغيرة في الجلد، والتفاصيل في هذا الجانب قد لا تدعو للسرور بالضرورة. إلا

أن للبشر قدرة، ليس على النجاة من هذه القوى فحسب، بل بوسعهم العمل وهم يكابدونها كذلك (كما قد يضطر لذلك أي رائد فضاء يعود بمكوكه إلى الأرض)، ويفعلون هاتين العمليتين معًا بأسلوب أحسن متى ما تعودوا على ذلك. وهكذا فقد تم إيجاد وسيلة لتدريبهم.

سيقضي جميع رواد الفضاء ورواد الكون الحاليين أوقاتًا لا بأس بها في مركز يوري غاغارين لتدريب رواد الكون في ستار سيتي التي تقع شمال شرقي موسكو، ويوجد بين قاعات المحاضرات والخدمات الطبية والنماذج المصغرة لمركبات الفضاء جهاز الطرد المركزي (تي إس إف-١٨)، يمتد ذراع الجهاز من مركز غرفة دائرية ضخمة إلى مسافة ١٨ مترًا نحو الخارج، ويمكن تغيير الكبسولة على طرفه حسب المطلوب في أي يوم. ويتضمن الاختبار الذي يتعيّن على الرائد الجديد اجتيازه بنجاح الجلوس داخل الكبسولة في الوقت الذي يدور فيه الذراع مرة كل ثانيتين أو أربع ثوان، وهو عدد لفات قد لا يبدو كشيء كثير إلى أن نحسب أن الكبسولة تتحرك بسرعة ١٢٠ ميلًا في الساعة، أو ٦٠ ميلًا في الساعة، وفور أن يبرهن الرواد على تمتعهم بالمؤهلات الصحيحة، يصبح بوسعهم ممارسة التدريب في ظل هذه الظروف، وهم يخضعون لمراقبة مدى استجابة أجسامهم باستمرار. لا يتوقف الأمر عند رواد الفضاء، بل يتجاوزه إلى اختبار الطيارين المعنيين باختبار أداء الطائرات، وطياري المقاتلات وتدريبهم في هذا المركز. ويقدم المركز كذلك خدماته لميسوري الحال من عامة الناس الذين يرغبون بخوض هذه التجربة. لكن عليكم الحذر، فالأمر الوحيد الذي قد يتفق عليه جميع من خاض تلك التجربة هو أنها متعبة إلى أبعد الحدود. لكن إذا أراد المرء تجربة مواجهة قوة عالية ومتسقة، فليقم بالدوران بسرعة عالية، فهكذا تجري التجربة.

جهاز الطرد المركزي هو أحد وسائل الاستفادة من توليد القوى عند تدوير شيء ما، من خلال استغلال القدرة على توليد قوة قوية جدًا في اتجاه بعينه، والتعامل معها كجاذبية اصطناعية. على أن ثمة وسيلة أخرى للاستفادة من قوى الدوران. الشاي وراكب الدراجة ورائد الفضاء كلهم يخضعون لحالة تقييد، فكلهم مجبرون على التحرك داخل شكل دائري نظرًا لوجود حاجز صلب يُحدِث دفعًا مضادًا عليهم، مما يحول بينهم وبين التحرك نحو خارج الدائرة. لكن ماذا لو كنا ندور مع عدم وجود قوة خارجية تحصرنا في مسار دائرة ثابتة؟ إنه مشهد مألوف كثيرًا.

فَكُرات الرجبي والبلبل الدوار (أو الحلزونات الدوّارة) والأقراص التي تقذف للعب كلها تدور من دون أن تدفعها نحو الداخل قوة خارجية.

غير أن أفضل طريقة لمشاهدة ما يجري عن قرب في عملية الدوران، وأكثرها متعة إلى أبعد حد، كما أنها شيء صالح للأكل؛ إنها البيتزا! البيتزا الممتازة، حسب تصوري، يجب أن تحتوي على طبقة أساسية رقيقة ومقرمشة (ليست سميكة)، وهو الجزء الأساسي الحيوي، وهو ما يجعل الطبقة العلوية من البيتزا تتألق. تبدأ عجينة البيتزا غير المشكّلة ككتلة مستديرة وكقطعة حية تنتظر عجنها والاعتناء بها لتقديم أحسن ما فيها، وهنا تظهر مهارة صانع البيتزا الذي عليه أن يحوّل تلك الكتلة المستديرة إلى صفحة رقيقة من دون أن يكسرها، بل تجاوز بعضهم هذه المسألة ليظهروا مهاراتهم كعرض مسرحي بصنع البيتزا، حتى أتقن معلمو الطبخ رمي البيتزا عاليًا وترك عملية الدوران تقوم بالمهمة نيابةً عنهم. فلماذا نتجشم عناء دعك كل قطعة من العجينة وعجنها بأصابعنا في حين بإمكاننا ترك الفيزياء تتولى ترتيب كل هذه التفاصيل؟ لا سيما أن القرص الطائر يعطينا هالة غامضة لساحر العجينة.

تطورت عملية قذف عجينة البيتزا عاليًا لتصبح رياضة جماهيرية بحد ذاتها، وتقام لها بطولة كأس عالم كل عام، بل ظهر كذلك من يطلقون على أنفسهم «بهلوانيو البيتزا» الذين يحترفون جعل وسط البيتزا (أو اثنتين منها) يلف ويطير ويتشقلب حول أجسامهم لعدة دقائق في كل مرة. لا يبدو أن أحدًا قد يأكل مثل هذه البيتزا المصنوعة من عجينة تتحرك وتدور في كل مكان، لكنها بالتأكيد تبدو مدهشة. ومع ذلك، يوجد معلمو طبخ كثيرون يجعلون البيتزا تدور لوقت بسيط من دون أن يستعرضوا بذلك، ويتركز جل اهتمامهم بتحويلها إلى وجبة عشاء لشخص يرتاد مطاعمهم. فما الذي يفعله الدوران فعلًا؟

صحبني بعض أصدقائي المغرمين بالبيتزا إلى مطعم أصحابه وَدُودُون وفيه مطبخ مفتوح، واستأذنت بالدخول لمشاهدة معلّم يجعل عجينة البيتزا تدور. ضحك معلمو المطبخ الشباب قليلًا من الإحراج، لكنهم دفعوا بواحد منهم لم تنقصه الشجاعة ليتطوع لهذه المهمة. وبين الاندهاش والفخر لإظهار قدراته، رَبَت على كرة من العجين ليجعلها مسطّحة قليلًا، ثم رفعها بيده بطرف المعصم ثم قذفها لتلتف في الهواء.

ما حصل تاليًا حدث بسرعة كبيرة، فعند مغادرة العجينة الدائرية من يده، أصبحت فجأة متحررة من أية قوة خارجية تسحبها وتدفعها. من المفيد التفكير بنقطة واحدة على حافة البيتزا، فهي تتحرك دائريًا، لكن هذا يحدث فقط لأن بقية العجينة ملتصقة بها وتسحبها نحو الداخل، وذلك السحب الداخلي ضروري دائمًا للجسم الذي يدور. ففي حالة راكب الدراجة، يدفع المضمار الدراجة باستمرار من الخارج، فيترتب على راكبها ضرورة الانحناء نحو الداخل باتجاه المركز بدلًا من الاستمرار بخط مستقيم. أما في حالة عجينة البيتزا، فهو سحب يأتي من الوسط ويجعل حافة العجينة تنحني نحو المركز، ولا بد في كلتي الحالتين من قوة موجهة نحو وسط الدوران. لكن العجينة ناعمة ومرنة، ولو سحبنا ناحيتها فستتمدد. يقوم وسط العجينة بسحب حافتها نحو الداخل، لكن هذا يعني أن ثمة قوة سحب عبر العجينة، مما يجبرها على التمدد. عندما يدور أي جسم صلب، يولد الدوران قوى داخلية لا يمكننا رؤيتها. أما السحب الداخلي الذي يحافظ على تماسك البيتزا فيعمل كذلك على تمدد العجينة، فتأخذ الحافة بالابتعاد أكثر فأكثر عن المركز، وتتجلى براعة هذه العملية لصالح معلم صنع البيتزا في أن السحب الداخلي ناعم ومتجانس. البيتزا كلها تدور، وبالتالي فهي تتمدد كلها من المركز.

يمكنكم الشعور بقوى السحب الداخلي بأنفسكم أحيانًا، إذا أمسكتم بحقيبة تحتوي على قدر لا بأس به من الأجسام الثقيلة بشكل أفقي وقمتم بتدويرها حولكم، فستشعرون بسحب يعمل على شدّ ذراعكم. هذا هو السحب الداخلي الذي يبقي الحقيبة في حالة دوران دائري. ولحسن حظكم، فإن الذراع أقل تمددًا من عجينة البيتزا لذلك يبقى الذراع على الطول نفسه، لكن كلما طالت ذراعك وزادت سرعة دورانك، شعرت أكثر بالسحب.

إذن فمع دوران عجينة البيتزا في الهواء، يعمل السحب نفسه الذي يجعل الحافة تتحرك دائريًا على تمدد العجينة رويدًا رويدًا نحو الخارج. أظن أن مدة دوران العجينة في الهواء لم تزد على ثانية، لكنها كانت فطيرة سميكة جدًا عندما ارتفعت للأعلى لتصبح دائرة ناعمة ونحيفة وجميلة عند نزولها. استمر المعلم بتدويرها ورفعها عاليًا مرة أخرى، لكن هذه المرة أصبحت قوى السحب الداخلية من القوة بمكان بحيث إن العجينة مزقت نفسها من الوسط، وما نزل منها هو شيء رث ومحزن، تجهّم المعلم والخجل يعلو ملامحه وقال: «لهذا السبب لا نفعل ذلك عادةً». وأردف قائلًا: «العجينة التي تُصنع منها أفضل بيتزا أنعم من أن يتم

تدويرها، فنضطر لتمديدها يدويًا على المنضدة» . لقد تبيّن أن العجينة المستخدمة في المسابقات البهلوانية للبيتزا مُعدّة باستخدام وصفة خاصة لتصبح متمددة وقوية، لكنها لا تصنع بالضرورة تلك البيتزا المطهية بأفضل تركيبة ونسيج. يمكن أن تصل قوة السحب الداخلية في طرف البيتزا من خمسة إلى عشرة أضعاف قوة الجاذبية، ما يفسر تمدّد مركز البيتزا عند تدويرها تمددًا أسرع بكثير من تمددها إذا رفعها المعلم عاليًا وتركها تغيّر شكلها تحت تأثير وزنها.

من الممتع مشاهدة وسط البيتزا وهي تدور لأنها تغير شكلها استجابةً لقوى مختفية تمامًا فيها. يولّد دوران الأجسام قوة سحب تنتقل من المركز إلى الحافة، وهذا يصح كذلك في حالة كرة الرجبي أو القرص الهوائي، لكن لن يشعر أحد بذلك في هذه الأجسام الصلبة لأن لها من القوة ما يكفيها لمقاومة التمدد، أو لأنها على الأقل تتمدد بمقدار طفيف جدًا بحيث لا نستطيع تحديد ذلك التمدد أو تمييزه، غير أن كل شيء يتمدد بمقدار قليل، بما في ذلك الأرض ذاتها.

***

يدور كوكبنا دورانًا متواصلًا في الوقت الذي يتحرك فيه حول الشمس، وعلى غرار البيتزا، فإنه يتمدد بفعل القوى التي تسحب كل قطعة فيه نحو الداخل، ما يجعلها تبقي كل قطعة حجر في حالة انتقال أو حركة دائرية. ولحسن حظنا جميعًا، تتمتع الجاذبية بقوة كافية تمنع من حدوث عواقب جامحة كما في حالة العجينة، فتبقى الأرض بشكل كروي معتدل، لكنها تتمتع بالظاهرة المفيدة التي يُطلق عليها اسم «الانتفاخ الاستوائي» ، وهو مسمى يبدو كتعبير لطيف للمبالغة في أكل الكعك! لو وقفنا على خط الاستواء فستكون المسافة بيننا وبين الأرض أكبر من ٢١ كيلومتر من المسافة بين الشخص الذي يقف على القطب الشمالي ومركز الأرض. تعمل الجاذبية على تماسك كوكبنا، لكن ما يمنحها شكلًا هو دورانها. ومع أن قمة إيفرست تعد أطول قمة جبلية على الأرض، إلا أنها ليست هي النقطة الأبعد عن مركز الأرض ،فهذه المزية تذهب إلى قمة تشيمبورازو؛ وهي قمة بركانية في الإكوادور. لا ترتفع قمته سوى لمسافة ٦٢٦٨ مترًا فوق مستوى الأرض، في حين يبلغ طول قمة إيفرست بالمقياس نفسه ٨٨٤٨ مترًا، لكن قمة تشيمبورازو تقع بالضبط فوق الانتفاخ الاستوائي، ولذلك عندما يقف شخص فوق تشيمبورازو فهو يبعد بزيادة ٢ كيلومتر من مركز الأرض عن ذلك الشخص الذي

يصعد بعناء قمة إيفرست، لكن الإشارة لذلك عندما يعود هذان الشخصان لمسقطي رأسيهما لن يجعل منهما شخصين شهيرين.
إجمالًا، يمكن للقوى التي يولدها الدوران أن تكون نافعة بطريقتين؛ الطريقة الأولى هي مثال البيتزا، إذ يولّد تدوير الجسم من دون تقييده قوة سحب داخل الجسم في الوقت الذي يحاول فيه التماسك في أثناء دورانه. أما الطريقة الأخرى، فهي مثال راكب الدراجة، إذا وضعنا جدارًا في طريقنا وقيّدنا أي جسم يدور بشيء يقاوم الدفع، فيمكن توليد قوة على ذلك الجسم أشبه بالجاذبية وتتسم بالاستمرارية، لكن المسألة المشتركة بينهما أن السحب أو الدفع الداخلي قد جاء من مكان ما، ولو زالت هذه القوة الداخلية لأي سبب من الأسباب فلن يصبح بمقدور الجسم الاستمرار بطريقه الدائري.
الجسم الصلب هو وحده القادر على التماسك مثل عجينة البيتزا، أما السوائل والغازات فلا تتمتع بخاصية ترابط أجزائها بإحكام ، ولهذا الفارق منفعة جمّة إذا كانت الأجسام الصلبة مختلطة بأجسام سائلة، لأن بمقدورنا الآن فصلهما عن بعضهما. تكمن براعة مجففة الملابس الدوّارة في أن الملابس محصورة داخل أسطوانة المجففة التي تدفعها نحو الداخل وذلك حتى تستمر في حركة الدوران. لكن الماء المتغلغل من بين الملابس لا يستقر في موقع ثابت، وحيث أنه حر الحركة فسيحافظ على حركته نحو الخارج وعبر الفجوات في المادة، ولن يتحرك إلا في دائرة إذا تلقى دفعًا من الداخل، قادمًا من جسم صلب، وإلا فسيتملص تدريجيًا ليبتعد عن المركز، وعندما يجد ثقبًا في الأسطوانة، سيخرج بسرعة من الجوانب متحررًا من الدائرة تمامًا.
عندما نقوم بتحريك جسم حركة دورانية ثم نفلته فإننا نبدأ بسحبه بالقوة الداخلية ذاتها التي تحافظ على دورانه بحركة دائرية، ثم نزيل فجأة هذه القوة، وعندما لا تنشأ قوة سحب داخلية فما من سبب يدعو الجسم لمواصلة الحركة الدائرية، فينطلق بالتالي بخط مستقيم. لقد أحدث هذا المبدأ ثورة في الأسلحة والاستراتيجيات الحربية زمن العصور الوسطى في أوروبا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط، إذ مكّن المهندسين من صنع آلات حصار عملاقة قادرة على دك الحصون الحجرية وتحطيمها، وقد استخدمتُ المبدأ نفسه لإطلاق أحذية مطر طويلة ، لكن ليس بتلك الفاعلية.

عند انتهائي من امتحاني الشفوي لرسالة الدكتوراه وإبلاغي بنجاحي فيه، ابتسم بوجهي الممتحن الخارجي وسألني: ما الذي سأفعله ببقية عصر ذلك اليوم. كان يتوقع طبعًا أن أقيم الحفلات وأن أذهب إلى الحانات وأشرب حتى الثمالة. لم يتوقع أن أقول إنني سأخرج لركوب الدراجة في ريف كامبريدجشاير للبحث عن مزارع يعيرني إطارًا أو إطارين لجرّار قديم. شرحت له أنني وقتذاك كنت أصنع أداة تشبه المقلاع لنقذف بها الأحذية الطويلة، ولا بد أن أركّب قطعها من مواد خردة، ويتحتم عليّ أن أنهيها في غضون الأسبوع القادم. تجعّد جبين الممتحن وحرّك حاجبيه معربًا عن حيرته، ثم تظاهر أنه لم يسمع شيئًا مما قلته، وسألني ما هي خططي للبحث عن وظيفة. لكن ما قلته حقيقي. لقد وافقتُ على أن أنضم إلى فريق نسوي مميز للاشتراك في البرنامج التلفزيوني الترفيهي (تحدي كومة الخردة) ، وتمثل التحدي أمامنا بصنع آلة قادرة على المنافسة في البرنامج بقذف الأحذية الطويلة، وذلك في معرض دورسيت للأجهزة البخارية. كنا ثلاث فتيات مفلسات من النقود تمامًا ووقتنا ضيق جدًا، وكل ما تراءى لنا آنذاك كخيار وحيد هو استخدام تقنية عتيقة وفعّالة في الوقت نفسه؛ ألا وهي المنجنيق.

يُعد المنجنيق من أفضل الآلات ابتكارًا، وقد تطور على مدار قرون كثيرة بفضل التحسينات التي أسهمت بها حضارات عديدة مثل الإمبراطوريات القديمة كالصينية والبيزنطية والإسلامية وأخيرًا أوروبا الغربية. وعندما بلغ أوجه في القرنين الحادي عشر والثاني عشر، برهن على مقدرته المدمرة، إذ كان بمقدوره تدمير القلاع التي ساد الاعتقاد قبل ذلك بأنها منيعة. وبمقدور المنجنيق قذف أحجار زنتها ١٠٠ كيلوغرام لمئات الأمتار، وقد أسهمت آلات حصار كالمنجنيق في زوال قلاع عالية وذات أسوار شديدة التحصين، كانت مفيدة استراتيجيًا لكنها مصنوعة من الخشب ومواد من الأرض، ووسيلة الدفاع الوحيدة هي الأحجار الصلبة فأصبحت الحصون الصخرية هي المعيار آنذاك.

تجلّت فوائد شبيهة من المنجنيق لي ولفريقي كما تجلّت لأهل حروب القرون الوسطى، فهو بسيط من الناحية الميكانيكية وشديد الفعالية. استعرنا دعامات سِقالة من موقع مبنى محلي، ونقّبنا في حاوية الكلية للنفايات عن بواقي لنصنع منها النقافة أو المقلاع، وأقنعنا التقنيين في مختبر كافندش [التابع لقسم الفيزياء في جامعة كامبردج] بالسماح لي بأخذ عارضة معدنية بطول ٥ أمتار، وأخيرًا جمعنا كل هذه الأشياء في ملعب الكلية الرياضية وشرعنا بالعمل. كانت كلية تشرشل في

جامعة كامبردج بمنزلة بيتي لثمانية أعوام وقتذاك، وقد اعتاد طاقم الكلية عليّ وعلى الظهور المفاجئ لمقاليع مبتكرة. وعندما أعود بذاكرتي إلى الوراء، ما زلت أشعر بالاندهاش (وكذلك الامتنان الشديد) من القبول المرح الذي يلاقيه أي طالب أو طالبة كلما راودتهم فكرة بلهاء جديدة. كان ثمة شخص آخر في الطرف الآخر من الملعب الرياضي في ذلك الأسبوع، يختبر منطادًا للارتفاعات العالية لكي يرسل دمية على شكل دب صغير إلى الفضاء.

الهيكل الأساسي للمنجنيق بسيط للغاية، نصنع إطارًا يعطينا نقطة محور ارتكاز بارتفاع مترين ربما أو ثلاثة عن الأرض، ثم نوصل عارضة طويلة بتلك النقطة لنصنع شيئًا يشبه أرجوحة كبيرة، لكننا نثبّت نقطة محور الارتكاز بمكان يظهر معظم العارضة في جانب أكثر من الآخر. وبذلك حصلنا على إطار على شكل حرف A وعلى قمته وضعت عصًا طويلة. الطرف الطويل هو الذي يبدأ بلمس الأرض، ونقوم بوصل المقلاع بالطرف الطويل ثم نضعه على الأرض تحت الإطار. كان اليوم الذي نجحنا فيه بتجميع كل هذه الأجزاء يومًا مشمسًا جميلًا، ويصلح لإطلاق أي شيء.

ثم اعترضتنا مشكلة؛ الشيء الجيد في أمر المنجنيق (إلا في حالة كونكم من يتلقى قذف الأحجار بوجهه) أنه يستخدم الجاذبية لتدوير الأرجوحة والمقلاع، فنحن نوصل وزنًا ثقيلًا بالطرف القصير من الأرجوحة، ثم مع تركنا لذلك الوزن ليسقط فإنه يسحب الأرجوحة للأسفل بسرعة كبيرة، وتدور العارضة بأكملها حول نقطة الارتكاز ليرسم شكل دائرة رأسية، ويدور المقلاع أيضًا في الطرف الآخر من العارضة. فإذن ينتج لدينا عملية دوران كبيرة السرعة، كما أن المقذوف في المقلاع يدور حول نقطة محور الارتكاز لأن المقلاع يُحْدِث سحبًا داخليًا، كل هذا جيد حتى الآن. وأول مهمة لنا هي الوصول لهذه النقطة، لكننا لم نعثر على وزن له من الثقل ما يكفي لتحريك كل جسم. اقترحت استعمال وزني لدفع الأرجوحة، لكن حتى أنا لم يكن لي وزن كافٍ. وقفنا في طريق مسدود. أخذت تلك الليلة أقضي وقتًا للتعبير عن إحباطي لمجموعة أخرى من الأصدقاء وأتجنب اقتراحاتهم بأن أتناول مزيدًا من الكعك وحسب، ثم عرض أحدهم أن يقدم لي أثقال بدلة الغوص خاصته. وهكذا جهّزت نفسي في اليوم التالي بارتداء حزام يحمل ١٠ كيلوغرام من أثقال الغوص، وحاولنا مرة أخرى. نجحت الفكرة هذه المرة بامتياز،

فحركت نفسي تحت نقطة الارتكاز، فتأرجحت الأرجوحة فوق القمة، وتأرجح المقلاع من فوق ذلك. دار كل شيء، وحان أوان الخطوة التالية.
يثبّت المقلاع في مكانه حلقة دائرية صغيرة وحسب، والخدعة في كل ذلك أن المقلاع عندما يكاد يصل لأقصى نقطة له تفلت الحلقة في هذه اللحظة. ينفصم المقلاع بفاعلية، ما يعني أن القوة التي كانت تسحب المقذوف نحو الداخل وتبقيه بالدائرة قد زالت. تغير الآن الموقف، فالمقذوف في هذه اللحظة ينتقل نحو الأمام والأعلى بسرعة فائقة. وفور أن يتحرر من القوة الداخلية يستمر في الانطلاق بخط مستقيم، وبما أنه كان ينتقل نحو الأمام والأعلى قبل ذلك فسيستمر بالحركة نحو الأمام والأعلى، لكنه لا يتجه نحو الخارج مباشرة من مركز الدوران، بل يواصل التحرك نحو الجوانب كأنه يلاحق خطًّا على قمة دائرة الدوران. تلك هي النظرية. وضعنا حذاءً في المقلاع ورتبنا كل شيء في صف منتظم، جعلت الملعب الرياضي وراء ظهري وأرجحت الأرجوحة، تأرجح الطرف الآخر منها عاليًا وأخذ يشد المقلاع عاليًا ومن حوله وفوق نقطة الارتكاز. أطلق المقلاع ما فيه باللحظة المناسبة بالضبط (في المرة الأولى!)، فانطلق الحذاء طائرًا فوق رأسي ليصل إلى الملعب. لم أرغب إطلاقًا في أن أجري تلك التجربة بصخرة كبيرة، لكن برهن الحذاء على الفكرة بامتياز تام، إذ أمكن لآلتنا قذف حذاء طويل، وخلال الوقت الذي قضيناه في هذه العملية، ما كان بوسعنا أفضل مما كان. وعقب إجرائنا لبعض التمارين الأخرى بآلتنا، فكّكنا إطارها لنجهزها للنقل إلى المسابقة في اليوم التالي.
أدى وصولنا إلى معرض دورسيت للأجهزة البخارية إلى ضرب ثقتنا العريضة بأنفسنا في مقتل، ضمت كل الفرق الأخرى رجالًا متوسطي العمر ممن أمضوا شهورًا في مرائب السيارات والخردة لصنع آلات مزخرفة لقذف الأحذية الطويلة. فيما بدت الكومة الصغيرة من دعامات السقالة والسجادة المهملة التي جمعناها في غضون أيام قليلة كأشياء تافهة ولا تدعو للإعجاب، لكننا أظهرنا شجاعة وتشبثًا بما ملكته أيدينا وركّبنا قطع الآلة على رؤوس الأشهاد. جاءنا محكمو المسابقة (وهم رجال متوسطو العمر كذلك) ليلقوا نظرة على آلتنا، فقال أحدهم: «إنها آلة سخيفة لكي يقذف أحد منها أي شيء»، وتابع قائلًا: «حَرِيٌّ بكن أن تحذون حذو محاربي العصور الوسطى فيما فعلوه، وأن تستخدمن حبلًا لسحب الرافعة للأسفل، فهذا سينفع بشكل أحسن». وكانت اعتراضاتي أن الوزن المقابل هو الاختراع

المجهول الذي قاد إلى نجاح هذه الآلة، وسبب عدم نجاحه كسلاح للحصار قبل القرن الحادي عشر إنما يكمن تحديدًا بمحاولة الناس أداء هذه المهمة بالقوة البشرية، لكن المحكمين وضعوا أياديهم في جيوبهم تعبيرًا عن الثقة المطلقة فيما زعموه، وأصروا على أن سحب الحبل فكرة أفضل بكثير، وألمحوا أننا نحن النساء المتحمسات وغير الخبيرات علينا أن نشعر بالامتنان أصلًا لِتلقّينا معونة إضافية منهم، ولم يرحلوا إلا بعد أن أذعنت زميلاتي بالفريق ووافقن على رأيهم. لم يكن هناك وقت للجدال، فقد اقترب وقت المسابقة.

واجهنا أول تحدٍ لنا بقذف أكبر عدد ممكن من الأحذية لتتجاوز خطًا يبعد ٢٥ مترًا خلال دقيقتين، وتصعد الفِرق الخمس الأوائل إلى المرحلة التالية من المسابقة التي ستشهد من له الأفضلية بمجمل القذفات الأبعد. دقت الساعة. تكالبنا ثلاثتنا على الحبل وأدرنا الأرجوحة لرمي المقلاع، لكن الحذاء الأول لم يكد يتجاوز رؤوسنا، ولم نتمكن من السحب نحو الأسفل بسرعة كافية لجعل الأرجوحة تعمل عملًا سليمًا، وحاولنا مرارًا وتكرارًا. وبعد ما يقرب من دقيقتين، أقنعت زميلاتي أن هذا الوضع لن يجدي نفعًا، فأعددنا أنفسنا للعودة إلى الفكرة الأصلية، فارتديت أثقال الغوص وقفزت من القمرة التي استخدمناها كمنصة، وحدثت الأرجحةُ تحت نقطة محور الارتكاز، فانطلقت أولى الأحذية فوق رأسي وتجاوزت الخط، وكذلك الحذاء التالي، وضعناه في المقلاع ثم صعدت إلى القمرة وقفزت للأسفل فأطلقناه. أما التالي... لكن انطلقت هنا صافرة النهاية، وانتهى وقتنا. وتَجَاوُزُ حذاءَين لخط النهاية لم يكن كافيًا لعبورنا للمرحلة التالية. أشفق علينا الرجال متوسّطو السن قائلين: «حظًا أوفر في المرة القادمة». أما المحكم الذي اقترح استخدام الحبل فقد نأيت بنفسي عنه لشعوري بالغضب منه. لقد نجحت الفكرة، نجح تصميمنا المكون من السقالة والسجادة والفيزياء الأنيقة، ونجحت حسب الأسلوب الذي قلته. كان بمقدورنا منافسة الآلات الجميلة والمعقدة الصنع وجميلة الطلاء! لكننا عانينا من تغيير سيّئ بالخطة . اعتمدت معظم آلات المسابقة الأخرى على أساليب أقل فاعلية كثيرًا، فقد تتسم بالزخرف والأناقة، لكننا نحن من امتلك الكفاءة، والبساطة الفيزيائية كانت لصالحنا.

إذن ظهر أن نجاحي بالمنجنيقات محدود، لكن قبل ثمانمئة سنة أحدثت هذه الفكرة ثورة في الشؤون الحربية، فأن يمتلك أحدهم المقدرة على قذف الأحجار الثقيلة بدقة عالية فهذا يعني أن بإمكانه أن يكرر ضرب مكان محدد في جدران القلعة

إلى أن ينهار. وقد أصبحت المنجنيقات لقرنين من الزمان أو نحوهما أكبر حجمًا وأفضل أداءً، وأسبغت عليها مسميات مثل «رامي الصخور الربانية» و«ذئب الحرب». وتطلب كل واحد منها كميات كبيرة من الخشب لبنائه، لكن رمي العدو كل بضعة دقائق بصخرة تلو صخرة تزن كل واحدة منها ١٥٠ كيلوغرام استحق تلك التكلفة. تدوير صخرة ومقلاع حول محور يسخّر لنا سرعة فائقة خلال فترة زمنية قصيرة، ولا نريد بذلك الدوران أن يستمر بلا انقطاع، بل نستخدمه فقط كوسيلة لبلوغ سرعة فائقة. فور أن ينطلق المقذوف بسرعة كافية، نزيل القوة الداخلية في اللحظة التي يكون فيها الاتجاه مضبوطًا، فتنطلق بعد ذلك بسرعة محمومة في الاتجاه الذي أطلقناه عليه. استمر هذا الوضع إلى أن أصبح البارود متوفرًا ومعتمدًا لاستخدامه في المدافع كسلاح موثوق، في حين ظل المنجنيق يتمتع بالكفاءة التدميرية المطلوبة حسب إمكانيات عصره.

***

أشياء كثيرة تدور، فعلى سبيل المثال: أنا وأنتم ندور الآن، فنحن نتحرك دائريًا حول محور الأرض مرة كل يوم، مع أننا لا نشعر بتلك الحركة لأن الأرض لها من الكبر بحيث يتغيّر الاتجاه ببطء شديد. لو أننا موجودون على خط الاستواء لبلغت سرعتنا الجانبية ١٠٤٠ ميلًا في الساعة. أتحرك بسرعة جانبية في لندن، حيث أكتب هذه السطور، وتبلغ ٦٥٠ ميلًا في الساعة لأننا أقرب إلى محور الدوران، لكن إذا كنا نعيش جميعًا في كوكب ضخم ودوّار، وإذا كانت الأجسام الطليقة والحرة فيه التي تقع على سطح دوّار تنطلق بسرعة بخط مستقيم في حال إفلاتها فجأةً، فلماذا نبقى كلنا مع ذلك ثابتين على الأرض؟ الإجابة هي أن السحب الذاتي للجاذبية يتمتع بقوة تكفي لمنع الكوكب من إفلات الأجسام عليه، بل حتى عندما نكون في مدار الكوكب فإنه لا يفلتنا، وعندما نكون في طريقنا إلى هناك، يمكن لتلك السرعة الزائدة التي تلقيناها بسبب دوران الأرض أن تكون ذات فائدة جمة.

في الرابع من أكتوبر/تشرين الأول من سنة ١٩٥٧، زقزقت كرة معدنية صغيرة تُدعى سبوتنيك بأولى الأصوات المؤشرة لعصر الفضاء، واستمع العالم مشدوهًا وفاغرًا فاه، كان حدث إطلاق القمر الصناعي الأول للأرض إنجازًا تقنيًا هائلًا. دار سبوتنيك حول الأرض مرة كل ست وتسعين دقيقة، وأمكن لكل شخص يمتلك مذياعًا أو جهازًا لاسلكيًا مزودًا بالموجات القصيرة أن يسمع صوت سقسقتها

المميز. لقد استيقظت أمريكا في ذلك الصباح مقتنعة أنها الدولة الأعظم على ظهر الأرض، ونامت مصعوقة أنها ربما ليست كذلك. أرسل السوفييت في غضون سنة من ذلك اليوم سبوتنيك ٢؛ وهو قمر أكبر يحمل بداخله كلبة تُدعى لايكا. لم يكن الأمريكان الذين أصابهم الذعر قد أرسلوا أي شيء إلى الفضاء، غير أنهم افتتحوا وقتذاك «ناسا»، الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء. لقد بدأ سباق الفضاء حقًا.

لكن ما هي حقيقة الإنجاز في إطلاق سبوتنيك؟ لم يتعلق الإنجاز بمجرد الصعود إلى أعلى، فأي شيء قريب من جسم ضخم كضخامة كوكب لا بد أن يعمل بالحكمة القائلة: «ما طار طير وارتفع إلا كما طار وقع». تبدأ فكرة وضع الأقمار في مدار بتشبيهها بالطير الذي يرتفع، لكن تكمن المهارة الحقيقية بتأخير هبوطه لأطول مدة ممكنة. لم يفلت سبوتنيك من جاذبية الأرض، ولم يكن هذا هو المقصود. لقد لخّص دوغلاس أدامز الفكرة بإتقان ودقة ، مع تنبيه صغير أنه يتحدث عن الطيران لا عن التحليق في مدار فضائي، فقال: «تتجسد البراعة في ذلك في أن تقذف نفسك على الأرض فلا تجد شيئًا تسقط عليه». كان سبوتنيك في حال سقوط دائم نحو الأرض، لكنه لا يسقط على شيء.

أُطلق سبوتنيك من صحاري كازاخستان، حيث تقع الآن محطة إطلاق كبيرة باسم مركز بايكونور الفضائي. أطلق الصاروخ الذي حمل قمر سبوتنيك نفاثاته لينطلق نحو الأعلى وليخترق أكثف أجزاء الغلاف الجوي ثم ينحرف جانبيًا، ليتسارع أفقيًا حول الأرض. ومع تساقط آخر أجزاء الصاروخ، كان سبوتنيك يندفع حول الكوكب بسرعة تقارب ٨,١ كيلومتر كل ثانية، أي ١٨,٠٠٠ ميل في الساعة. هنا يكمن تركيز الجهود عند وضع جسم بمدار حول الأرض، فمعظم العملية لا تتعلق بالصعود العلوي، بل بالتحرك الجانبي.

لم تفلت تلك الكرة المعدنية من الجاذبية إطلاقًا، بل الحقيقة أنها احتاجت وجود الجاذبية لتبقى في مدارها مع الحرص على بقائها فيه وعدم استمرار حركتها العلوية، وبالتالي الابتعاد عن الأرض. وفي الوقت الذي ينطلق القمر بهذه السرعة المذهلة، تشدّه الأرض نحو الأسفل بقوة جاذبية تكاد تساوي جاذبية الأرض ، لكن بسبب امتلاك سبوتنيك مثل تلك السرعة الجانبية الكبيرة، كان في الوقت الذي يسقط فيه قليلًا ناحية الأسفل باتجاه الأرض، يكون قد انطلق للأمام بحيث إن الأرض تنحرف وتميل عنه من أسفله. ومع استمراره بالسقوط تحافظ الأرض

على انحرافها الجانبي. وتكمن هنا روعة حالة البقاء في المدار، فالجسم ينطلق جانبيًا بحيث يسقط نحو الأرض لكنه لا يسقط على شيء، ولانعدام وجود مقاومة الهواء تقريبًا يمكن للجسم أن يواصل سقوطه ولا يسقط على شيء مع استمراره بحركة دوران متواصلة.

على الجسم الذي يريد الدخول في مدار أن ينطلق بسرعة جانبية تكفي لإجراء هذا التوازن، ويمتاز موقع كازاخستان بالفعل بسرعة جانبية مميزة لأنها تنطلق سريعًا حول محور الأرض مرة كل يوم. وكلما ابتعد الجسم عن محور الدوران، زادت سرعته الجانبية. وبالتالي فإن إطلاق الصاروخ بمكان قريب من خط الاستواء يمنحه بداية بارزة. والمطلوب هو سرعة جانبية بسرعة تقارب ٨ كيلومتر في الثانية لإنجاز مدار أرضي منخفض. تتحرك كازاخستان جانبيًا بسرعة ٤٠٠ متر في الثانية (٨٩٤ ميلًا في الساعة). فإذا أُطلِق الصاروخ من أراضيها نحو الشرق ومع دوران الأرض، فهذا يعني أن البدء من كازاخستان بدلًا من القطب الشمالي قد أنجز ٥ بالمئة من العمل فعلًا.

ما يدفع الملابس نحو الداخل في مجففة الملابس الدوارة، ويمنعها من الهرب؛ هو الجزء الخارجي من الأسطوانة. أما في مضمار ركوب الدراجات الرياضي، فالمضمار شديد الميلان هو ما يدفعني نحو الداخل. وبالنسبة إلى سبوتنيك، وهي أولى بشارات المغامرة البشرية لاكتشاف الفضاء، فإن الجاذبية تتكفل بأداء هذه المهمة. يحتاج كل جسم يدور إلى شيء يشدّه أو يدفعه نحو مركز الدوران طوال الوقت، فإذا اختفت تلك القوة فإن مصير الملابس التي تدور في المجففة وكذلك سبوتنيك سيتغير، إذ سيواصلان الانطلاق بخط مستقيم.

إذن فالجاذبية ما زالت تشكّل أهمية بالغة على بعد بضع مئات من الكيلومترات فوق رؤوسنا. وفكرة الوجود في الفضاء تعني بالتأكيد انعدام الوزن. فماذا عن أولئك الرواد الفضائيين الذين يتحركون في حالة انعدام الجاذبية، ويحرصون كل الحرص على ألا يسكبوا أي شيء لأنه سيطفو حولهم لأيام؟ تدور حاليًا المحطة الفضائية الدولية في مدار حول الأرض عاليًا، ويفاخر رواد الفضاء الذي يعيشون داخل هذه المنشأة العلمية الضخمة بأنهم يحلقون عاليًا لأداء مهمات معينة، ولا أحسدهم على ذلك، إذ يبدو من غير المثير القول إنهم سيقضون فترة ستة شهور وهم في حالة سقوط، لكنها الحقيقة، فأولئك الرواد لا يطيرون بل يسقطون. فكما كان سبوتنيك في حالة سقوط، يواجه الرواد والمحطة الفضائية الحالة نفسها.

في أثناء سقوط الجسم سقوطًا حرًا فإنه لا يشعر بالجاذبية لعدم وجود دفع مضاد، وبما أن رواد الفضاء لا يشعرون بأي دفع مضاد فلا يمكنهم تمييز وجود الجاذبية، وهذه الحال نراها عند بدء هبوط المصعد الكهربائي، حيث نشعر لفترة وجيزة بخفة الوزن، فالأرضية لم تعد تعمل دفعًا مضادًا قويًا باتجاهنا كما كان قبل تحرك المصعد. ولو قُدّر للمصعد أن يسقط بأقصى سرعة عبر بيت مصعد عميق، لشعرنا بانعدام الوزن أيضًا. لا تفلت الأجسام من الجاذبية في أثناء الحركة في المدار، بل تجد وسيلة لتجاهلها فحسب، لكن بينما لا نشعر نحن بالجاذبية، إلا أنها ما تزال موجودة، وقوة شدها الداخلي تبقينا في حالة دوران حول الكوكب.

يُعد الدوران من الظواهر النافعة من نواحٍ عدة، لكن ثمة مرات يكون فيها ظاهرةً مزعجة، على سبيل المثال: لماذا تسيح الزبدة من على جوانب الخبزة المحمصة؟ فنحن قد أخرجنا للتو الخبزة الساخنة من المحمصة الكهربائية ووضعنا عليها طبقة من الزبدة التي بدأت بالذوبان، فما إن ينشغل المرء بالإمساك بالشاي فيصدم الخبزة لتتجه لطرف الطاولة إلا ونراها تتأرجح على الحافة وتسقط على الأرض، وعلى الوجه الذي فيه الزبدة. زبدتنا اللطيفة تلطخت وغطّت الأرض، ويا له من إزعاج أن ننظف الأرضية منها، ومما يزيد الطين بلة أن نشعر أن الكون يعمل ضدنا. لماذا يتحتّم أن يحدث هذا الأمر بأكثر الطرق فوضوية هكذا؟ لماذا تنقلب الخبزة على وجهها هكذا؟

إنها ظاهرة حقيقية، أجرى أناس كثيرون تجارب عدة، حيث دفعوا بكل صبر الخبزة من طرف الطاولة مرات كثيرة، فتسقط غالبًا على الوجه الذي دُهنت عليه الزبدة، بمرات أكثر من المرات التي تسقط فيها على الوجه الخالي منها، هذا يعتمد على كيف بدأ السقوط، لكن بشكل عام هكذا يكون العالم ولا مهرب لنا من ذلك، ولا علاقة لهذه الظاهرة البتة بوزن الزبدة الزائد، إذ تتركز معظم الزبدة في وسط الخبزة المحمصة، وحتى لو لم تتركز هناك، فهي لا تضيف سوى مقدار ضئيل إلى إجمالي كتلة الخبزة.

فأول ما يتبادر إلى الأذهان سؤال مَفَادُه: لماذا تنقلب على وجهها أصلًا؟ يحدث هذا الأمر بسرعة تجعل من الصعوبة بمكان ملاحظة ذلك (ولو كنا ننظر إلى الخبزة على أية حال لما أوقعناها في المقام الأول). يمكنكم مشاهدة حدوث ذلك، إذا كان لديكم استعداد للتضحية بقطعة خبز محمصة ، أو بأرضية توضع تحت الأطباق أو بكتاب له حجم مقارب، فضعوا قطعة الخبز التي ستضحّون بها قريبًا

من الطرف، واضربوا بكفكم باتجاه الحافة، وعندما تقع نقطة منتصف الخبزة على حافة الطاولة، فسيحدث أمران؛ الأول: أن الخبزة تبدأ بالدوران حول طرف الطاولة كالأرجوحة، أما الأمر الآخر: فهو أن قطعة الخبزة ستبدأ بالانزلاق نحو الخارج من دون أن تتلقى مزيدًا من الضرب على الطاولة. ستتولى الخبزة الآن أمر نفسها، انزلاقة، فدوران، فسقوط.

فيبدأ الدوران إذن عندما يكون منتصف الخبزة فوق طرف الطاولة بالضبط، فأساس كل ذلك أنه في هذه اللحظة، ولأول مرة، الجانب الأقل من الخبزة هو الذي تسنده الطاولة، وبقيتها تتدلى من الطرف. تشد الجاذبية كل الخبزة، وتشكّل الطاولة دفعًا مضادًا للأعلى، لكن الهواء لا يستطيع القيام بذلك، فالمسألة كلها إنما تتعلق بالتوازن، تمامًا كالأرجوحة، من نقطة منتصف رغيف الخبزة إلى الحافة، تشد الجاذبية الجانب المتدلي وهو ما يكفي ليرتفع الجزء المستند إلى الطاولة. يُطلق الفيزيائيون على نقطة منتصف الخبزة «مركز الكتلة»، وهو ما يعني بالضبط أن الأرجوحة التي يدور محورها على تلك النقطة ستأخذ وضع التوازن التام.

اللحظة التي يدرك فيها المرء أن الخبزة تسقط هي اللحظة التي يفوت فيها أوان فعل أي شيء اتجاه ذلك السقوط، وفَوْر أن يكتمل انزلاق الخبزة من الطاولة سيستغرق سقوطها مقدارًا ثابتًا من الزمن. فإذا كان ارتفاع الطاولة يقرب من ٧٥ سنتيمترًا فسيستغرق زمن سقوطها على الأرض أقل من نصف ثانية. لكن فور بدء الدوران فما من سبب يدعوها للتوقف، فتظل الخبزة تدور مع سقوطها ، وبما أن الجاذبية تظل دائمًا على حالها، والطاولات لها في معظم الأحيان الارتفاع نفسه، فستأخذ الخبزة سرعة الدوران نفسها، ستدور ١٨٠ درجة في غضون ٠,٤ جزء من الثانية، وبما أن الزبدة بدأت على القمة فستنتهي في القاع. وهذه الفيزياء متشابهة كثيرًا في كل مرة، وكذلك النتيجة متشابهة كثيرًا في كل مرة، إذ تسقط الخبزة وجانبها المدهون بالزبدة موجه نحو الأرض.

لكن ما يثير الاهتمام هو وجود حل بالإمكان عمله لتغيير هذه النتيجة ، لكن ذلك ينطوي على مخاطرة كبيرة بحدوث عواقب غير مقصودة. فمع إدراكنا أننا ضربنا الخبزة لتتأرجح على الحافة، تشير الفيزياء أن ضربها مرة أخرى من جانبها سينفع في هذه الحالة، إذ سينتهي الحال بالخبزة في الجانب الآخر من الغرفة، لكن لأنها ستستغرق وقتًا أقل للدوران على الحافة فلن تدور بسرعة دوران أكبر من سرعة سقوطها تقريبًا، وقد لا تدور بالقدر الكافي الذي يجعلها تنقلب على وجه الزبدة

قبل أن تهبط على الأرض، ولذلك قد تتوفر لها فرصة جيدة بالهبوط وجانب الزبدة نحو الأعلى، لكن هناك أيضًا فرصة جيدة أن تقع تحت الأريكة أو تخبط القطة.

تبدأ الخبزة بالدوران لأن لها مَزِيَّتين تميزانها؛ نقطة للدوران حول محورها، وكذلك قوة تشد الخبزة حول المحور، ولا يهم أن القوة لا تتوجه سوى نحو الأسفل مباشرة ولا تحافظ على شد الخبزة حول الدائرة، فما يهم في الحقيقة أن القوة كافية لتحريك الخبزة (وهي كذلك طالما أن مركز الكتلة يكون عبر الهواء لا الطاولة)، وأنها تشد الخبزة حول محور الارتكاز لبرهة من الزمن على الأقل، وفور أن تبدأ عملية الدوران، فإنها ستحافظ على انطلاقها إلى أن يوقفها شيء.

هذا هو المبدأ الذي يقف خلف دوران البيض كما رأينا في مقدمة الكتاب. لو فكرتم بكثير من الأشياء التي تدور بحرية، مثل أقراص اللعب والعملات النقدية التي يتقاذفها الناس وكرات الرجبي والحلزونات الدوّارة، فستلاحظون أنها تستمر بالدوران، وسيبدو أمرًا شديد الغرابة إذا قذف أحدكم بأصابعه عملة معدنية لتدور عاليًا في الهواء، ثم توقفت لسبب ما عن الدوران قبل أن تمسكوا بها . ولكل جسم يدور زخم زاوي يُعدّ مقياسًا لكمية دورانه، وما لم يعمل شيء (مثل الاحتكاك أو مقاومة الهواء) على إبطاء سرعته، فإن الجسم سيدور بلا نهاية. هذا هو قانون حفظ الزخم الزاوي، فالشيء الذي يدور سيظل يدور، ما لم يعمل شيء آخر على إيقافه.

أنا متيقنة تمامًا أنه عند ممارستي في طفولتي للعبة الدوران كان ذلك يُنظر إليه من قبيل التسلية الذاتية، فإذا شعرنا كأطفال بالملل نظل ندور حول نقطة معينة، لنرى من الذي يستطيع الاستمرار أطول مدة أولًا، وثانيًا لما فيها من طرافة عندما يسقط جميع الذين يدورون فور توقفهم. لم يبدُ أن الدوران ذاته يسبب كثيرًا من المشكلات، فحالة التوهان القصيرة والمسلية تأتي عندما نتوقف. ومن المؤسف أن الكبار لا يلعبون هذه اللعبة بين الحين والآخر؛ فقد نتمعن بفهم أنفسنا أكثر إذا مارسنا هذه اللعبة. يحدث الإحساس بالتوهان بسبب عملية تجري داخل الأذن ولا نراها، لكن الدماغ يدركها بطبيعة الحال.

فلنعد لمسألة البيضتين النيئة والمسلوقة، اللتين تحدثت عنهما في المقدمة، كل بيضة منهما بقشرتها وضعت على جنبها وأديرت حول نفسها، وبعد ثوان قليلة من دوران البيضتين نضع أصابعنا على قشرة كل بيضة لإيقافها، فتتوقف البيضتان عن الدوران، ثم نبعد أصابعنا، لنرى إحدى البيضتين تدور مرة أخرى،

أما البيضة التي في داخلها مادة صلبة فتتوقف نهائيًا عندما نوقف القشرة. البيضة والقشرة متلازمتان معًا بالحركة، لكننا عندما نوقف البيضة النيئة فنحن في الحقيقة لا نوقف سوى القشرة، أما المادة المائعة التي في الداخل فلم تكف عن الدوران حول نفسها، فهي غير مرتبطة بالقشرة ولذلك ما من سبب يدعوها للتوقف عن الدوران. وهكذا، يعمل المائع على دفع القشرة إلى أن تبدأ بالالتفاف مرة أخرى.

عندما ندور بأجسامنا فإن معظم الجسم (وهذا من حسن الطالع) يشبه البيضة المسلوقة الصلبة، فكل الجسم يتحرك ككتلة واحدة متماسكة، ولذلك عندما نتوقف عن الدوران، يتوقف كلٌّ من الدماغ والأنف والأُذنين الظاهرتين أيضًا، أما آذاننا الداخلية فإنها لا تتوقف، فثمة قنوات صغيرة في كل أذن مملوءة بمادة مائعة تجعلها تتصرف تحديدًا مثل البيضة النيئة، ولا تتحرك - بالضرورة- المادة المائعة لتطابق حركة الوعاء الذي يحتويها، وذلك لأنها غير مرتبطة به. هذه إحدى الوسائل التي تمكّن أجسامنا من الإحساس بالمكان الذي نحن فيه؛ فشعيرات صغيرة تكشف كيف تدور المادة المائعة، وتطابق أدمغتنا تلك الحركة مع ما نراه. إذا أدار أحدنا رأسه فإن المادة المائعة في النفق المنحني لا تدور بسرعة معه، فهي تتدفق حول القنوات الصغيرة المذكورة آنفًا لأنها لمّا تواكبه بعد، لكن إذا قمنا بالدوران لبرهة، تبدأ تلك المادة المائعة بالدوران أيضًا. ولا يستغرق الوقت لمواكبة الدماغ سوى بضع ثوان، حيث تأخذ الموائع في الأذن بالدوران بوتيرة منتظمة مع الأنفاق لتلحق بحركة الوعاء الذي يحتويها، وعندما نقف فجأة، لا تتوقف المادة المائعة. فعلى غرار البيضة النيئة، يتوقف الوعاء لكن تستمر المادة المائعة التي يحتويها بالحركة. إذن يبدو الأمر كما لو أن دماغنا ما يزال يتلقى من الأذن الداخلية بلاغًا بأن الجسم يتحرك، أما العيون فتبلّغ الدماغ أنه لا يتحرك. هنا يحدث الشعور بالدوار والدوخة، إذ يحاول الدماغ إدراك حقيقة ما يجري. في نهاية المطاف تكف المادة المائعة في الأذن عن الدوران لأن وعاءَها المحتوي عليها قد توقف. أما الدوار والدوخة فيزولان تدريجيًا.

هذا أحد الأسباب التي تفسر إبقاء راقصات الباليه الإيقاعي وجوههن في اتجاه واحد عند دورانهن، ومن ثم يحركن رؤوسهن سريعًا باستدارة كاملة للعودة إلى الاتجاه نفسه في أثناء مواكبة أجسامهن للحركة. وبهذا التوقف السريع جدًا، ثم بدء الحركة، لا تدور المادة المائعة الداخلية دورانًا منتظمًا، وبالتالي لا تشعر راقصة الباليه بالتوهان أو الدوخة عندما تتوقف.

ثمة جانبان لحفظ الزخم الزاوي؛ الأول: أن الجسم الذي لا يدور يحتاج إلى دفع لجعله يتحرك، فليس بوسعه الدوران من تلقاء نفسه، أما الثاني: فهو أن الجسم الذي في حالة دوران سيستمر بدورانه ما لم يقاوم حركته شيء آخر لإيقافه. و في حياتنا اليومية، غالبًا ما يوفّر الاحتكاك الدفع اللازم لإبطاء سرعة الأجسام. وفي النهاية ستتوقف النحلة الدوارة ويبطئ دوران العملة المعدنية إلى أن تسقط أرضًا، لكن في الحالات التي لا يتوفر فيها الاحتكاك، ستستمر الأجسام بالدوران إلى ما لا نهاية، وهذا ما يفسر أن للأرض فصولًا متعاقبة.

إن إيقاع الفصول في شمال إنكلترا يسبغ على ذكرياتي إحساسًا دافئًا ومريحًا عن مسقط رأسي؛ ذكريات مثل المشي على طول نفق بريدجووتر [في مدينة مانشيستر] في أيام الصيف الحارة، ومباريات الهوكي في رذاذ الخريف، وقيادة السيارة وهي عائدة من عشاء بولندي لعيد الميلاد في برد قارس، والإثارة التي تعترينا من طول النهار في الربيع، فكل تلك التنوعات تدعو للبهجة والحياة. وأحد أصعب الأمور التي واجهتها في معيشتي بولاية كاليفورنيا غياب ذلك الإيقاع؛ شعرت كما لو أن الزمن لم يعد يتحرك، مما أوقعني باضطراب عميق. أستمر بالشعور بتعاقب الفصول حاليًا بقوة، فأحب أن أكون قادرة على التعرّف إلى مكاني في الدورة السنوية من خلال الإشارات التي ما زالت تمنحها علامات دالة عليها حتى في المجتمع الحديث: كالحيوانات والهواء والأرض والسماء. وأساس كل هذه النّعَم يكمن في هذا الجزء من الفيزياء الذي يحافظ على دوران الأجسام ما لم يوقفها شيء.

لهذا الدوران اتجاه، ألا وهو المحور الذي يدور حوله كل شيء. نتصوّر أن محور الأرض هو خط يبدأ من القطب الجنوبي وينتهي عند القطب الشمالي، بميل طفيف، ومتجهًا بعيدًا نحو الفضاء. لكن لأن الأرض قد تلقت في الماضي السحيق ضربة عظيمة قادمة من حطام مصدره النظام الشمسي (لا سيما ذلك الاصطدام الهائل الذي نشأ على إثره القمر) ، فمحور دوران الأرض مثل لعبة الحلزونة الدوّارة لا يتجه كخط مستقيم مقارنةً مع بقية كواكب النظام الشمسي. تخيلوا أنكم تنظرون من الأعلى إلى النظام الشمسي بحيث تقع الشمس في الوسط والكواكب تدور على مستوى مسطح، فيتجه محور الأرض بمقدار طفيف نحو اليسار، وأنها تدور الآن حول ذلك المحور المائل، فيتعين عليها البقاء في حالة دوران حول ذلك المحور نفسه. إذن عندما تصبح الأرض على يسار الشمس حسب ما ننظر إليه، فإن

الطرف الشمالي من المحور يتجه نحو الاتجاه البعيد عن الشمس، أي نحو الاتجاه الآخر في الفضاء. لكن بعد ستة شهور من ذلك، وعندما تصبح الأرض على يمين الشمس، ما يزال الطرف الشمالي من المحور يشير نحو اليسار، فيصبح في هذه الحالة في اتجاه الشمس، ولا يغير محور دوران الأرض اتجاهه وهو يدور حول الشمس، فما من شيء يدفعه لذلك، فلا بد إذن أن يواصل حركته التي كان عليها من قبل، لكن ذلك يعني أن القطب الشمالي يتلقى ضوء شمس أكثر أو أقل، حسب موقع الأرض في مدارها بالنسبة للشمس، من هنا تأتي دورة الفصول الموسمية ، تحدث دورة النهار/الليل لأن الأرض لا تتوقف عن الدوران، وتحدث دورة الفصول لأن محور ذلك الدوران مائل.

إن الدوران جزء لا يتجزأ من حياتنا عبر طرق عدّة، لكن ثمة جهاز بعينه يعتمد اعتمادًا كبيرًا على الدوران وقد نرى جميعًا أصنافًا كثيرة منه في المستقبل؛ ألا وهو الحدّافة ، فأي جسم يدور له طاقة زائدة تحدثها عملية دورانه، فإذا حافظ الجسم الدائر على دورانه بلا نهاية، فهذا يعني أيضًا أن بمقدوره أداء دور مخزن للطاقة، فإذا استطعنا استعادة الطاقة في الوقت الذي نُبطئ فيه من الدوران، فقد فعّلنا عملية الحصول على بطارية ميكانيكية. هذه فحوى عمل الحدّافة التي لا تُعد جديدة علينا؛ بل كانت مستخدمة منذ قرون عديدة، لكن أصنافًا جديدة من الحدّافات على وشك الانتشار في مجتمعنا، ألا وهي مجموعة من الآلات الحديثة الفعالة جدًا التي بإمكانها المساعدة على حل مشكلة شائكة ومتجذرة.

من أكبر التحديات التي تواجه أي شبكة إمداد بالطاقة التوازن بين طلب الطاقة ومصادرها المتاحة في مدى زمني قصير جدًا. إذا افترضنا أن كل سكان البلد يطهون عشاءهم في الوقت ذاته، فذلك سيؤدي إلى استهلاك الطاقة لساعة أو نحوها، ومن ثم يهبط هذا الاستهلاك. ويُفترض أن مراقب النظام يسمح بإتاحة مقادير من الطاقة لشبكة التوزيع تتناسب مع زيادة الحاجة، لكن هذا يخلق مشكلة إذا كانت الطاقة تأتي من محطة طاقة تعمل بالفحم وتستغرق ساعات لبدء تشغيلها ثم إيقافها، بل إننا قد لا نتحكم في معدل توليد الطاقة أو توقيته. وتظهر إحدى الصعاب بكثير من مصادر الطاقة المتجددة، وهي أننا غير قادرين على التحكم بتوقيت توليدها، فإذا هبت رياحك (أو تخزينك للطاقة) فاغتنمها ، ولكن ماذا لو لم يحدث ذلك في الوقت المطلوب؟

بالتأكيد قد تجيبون بأن كل ما تحتاجونه هو بطارية لتخزين الطاقة الزائدة إلى وقت الحاجة لاستخدامها، غير أن البطاريات الكهربائية لا تتمتع بقدرة كافية على أداء هذه المهمة، فتكاليف تصنيعها باهظة، وغالبًا ما تعتمد على معادن نادرة نسبيًا، ولها عدد محدود من دورات الشحن والتفريغ، وثمة حدود لمدى سرعة قدرتها على تخزين الطاقة أو تحريرها. وعلى مدار الأعوام القليلة الماضية ظهرت على السطح بعض من مشاريع النماذج الأولية للحدّافة استجابة لذلك. ويبدو أن هذه التقنية تقدّم حلًا عمليًا لبعض الوقت على الأقل، فالحدّافة إنما هي أسطوانة أو قرص ثقيل يدور حول محمل بأقصى قدر ممكن من عدم الاحتكاك، وفور أن تدور فستحافظ على دورانها، وطالما توجد طاقة دوران فيمكن للحدافة أن تخزّن الطاقة. وفي حالة توفر طاقة زائدة في الشبكة فإنها تُستخدم لتدوير الحدّافة، فتحافظ على دورانها مع حفظها للطاقة. ومن هنا، عندما نرغب باستعادة الطاقة نخفّض من سرعة العجلة عبر تحويل الطاقة إلى كهرباء. ولا حدود لعدد المرات التي يمكننا شحن الحدّافة وتفريغ شحنتها، وهي قادرة على إطلاق طاقتها بسرعة كبيرة، ولا نفقد من طاقة الحدافة التي بدأنا بها سوى ١٠ بالمئة، كما أنها لا تحتاج إلا لصيانة قليلة. والأفضل من ذلك كله أن بمقدورنا جعلها تناسب حاجاتنا؛ كأن نخصص حدّافة صغيرة منها لتعمل مع ألواح الطاقة الشمسية على سطوح منازلنا، أو حشد حزمة كبيرة منها لإمداد شبكة الطاقة بأسرها بما تحتاجه نتيجة زيادة الطلب على الطاقة. وقد جُرّبت كذلك حدّافات صغيرة لتخزن الطاقة للحافلات الهجينة، كأنْ تعمل مكابح الحافلة لتخزين طاقة الدوران في الحدافة ثم نعيد إمداد العجلات بها عندما تزيد الحافلة من سرعتها مرة أخرى. تتمتع الحدّافات بالجاذبية لأنها مبنية على فكرة رائعة وبسيطة؛ ألا وهي حفظ الزخم الزاوي.

البيض والحلزونات الدوّارة والشاي الذي نقلّبه؛ كلها تخضع للمبدأ ذاته، لكن تحويلها إلى حل عملي يتطلب تقنية حديثة وفعّالة. على أن من السابق لأوانه تجسيد هذه التقنية الجديدة وانتشارها على أرض الواقع، لكننا قد نرى مع ذلك الحدّافات الدوّارة من حولنا بكثرة في المستقبل.

الفصل الثامن: عندما تتجاذب المتنافرات الكهرومغناطيسية

الحقيبة التي تُرتب الأغراض داخلها ترتيبًا ذاتيًا أشبه بحُلم بعيد المنال، لكنه قد لا يكون مستحيلًا. خرجتُ في أحد الأيام إلى متحف لندن للعلوم لشراء بعض من قطع المغناطيس الكروية الجميلة (بعضها لصديقة لي وبعضها الآخر لي – هذا ما يجب أن نفعله بالألعاب العلمية، أليس كذلك؟). توقفت في أثناء عودتي لتناول شراب الشيكولاتة الساخن، ثم ثبّتُّ مجموعات المغناطيس إلى جرار في أعلى حقيبة السفر خاصتي وتابعت طريقي. تذكرتُ بعد يومين وأنا في مدينة كورنوال أنني لم أرَ قطع المغناطيس منذ مدة فنقبت عنها لأرى أين هي، فوجدتها قابعة في أسفل الحقيبة على شكل يشبه عنقود مغناطيسات توسع ليضم إليه سبع قطع من العملات المعدنية ومشبكي ورق وزرًا معدنيًا. هنأت نفسي للعثور على طريقة جديدة للحفاظ على حقيبتي مرتبة عند ملاحظتي أن هناك قطعَ عملات معدنية كثيرة في أسفل حقيبتي لم تلتحق بهذه اللعبة الجديدة. فأخذت بفرز العملات المعدنية لأرى التي لصقت بالمغناطيس من تلك التي لم تلتصق. بعض عملات ١٠ بنس التصق وبعضها الآخر لم يفعل، ولا عملة أكبر من قيمة ٢٠ بنس التصقت، في حين أن معظم عملات ١ بنس و٢ بنس التصقت، لكن لم تلتصق أية عملة أقدم من تاريخ ١٩٩٢.

يتميّز المغناطيس بانتقائيته، فلا يجذب معظم المواد مثل البلاستيك والفخار والماء والخشب أو الكائنات الحية، أما مع الحديد والنيكل والكوبالت فالمسألة مختلفة، فهذه المعادن ستقفز نحو المغناطيس إذا تمتعت بالحرية لفعل ذلك. ومن أغرب الأفكار التي تطرأ على الأذهان أن الحديد لو لم يكن من أكثر المواد انتشارًا وشيوعًا في العالم لما وجدنا للمغناطيسية أثرًا في حياتنا اليومية. ويشكّل هذا المعدن نسبة ٣٥ بالمئة من كتلة الأرض، ويعد الفولاذ (الذي يتكوّن معظمه من الحديد ويختلط به مواد أخرى) جزءًا أساسيًا من البنى التحتية في عالمنا المعاصر. لو لم تُصنع أبواب الثلاجات من الفولاذ لما وُجِد مغناطيس المبرد، لكن الفولاذ متوفر في كل مكان، مما يعني أنّ القوة المغناطيسية منتشرة.

فرَزَ المغناطيس في حقيبتي العملات المعدنية حسب تركيب كلٍ منها، إذ تتكوّن العملات الحديثة من فئة ١ بنس و٢ بنس، في تكوينها الداخلي، من الفولاذ، وعليه طبقة نحيفة من النحاس، وكانت تحتوي قبل سنة ١٩٩٢ على نسبة ٩٧ بالمئة من

النحاس. البنسات القديمة والجديدة تبدو متطابقة أمامي، لكن المغناطيس يستجيب لمعدنها الداخلي غير الظاهر ، عملة العشرين بنس الفضية لا تلتصق بالمغناطيس، مما يثير الاستغراب، لأن معظمها من النحاس، وهذا ينطبق على العشرة بنس القديمة، لكن أية عملة سُكّت بعد سنة ٢٠١٢ تتكون من الفولاذ المطلي بالنيكل، كل شيء يلتصق بالمغناطيس فمعظمه من الحديد، حتى «القروش» .

يُحاط المغناطيس بحقل مغناطيسي، وهو شيء يمكن وصفه بـ«مجال القوة»، ويعني أن ثمة منطقة حول المغناطيس قادرة على دفع الأجسام وسحبها حتى في حالة عدم لمس المغناطيس لها. إنها ظاهرة غريبة نوعًا ما، لكن هكذا طبيعة الأشياء. مشكلة المجالات المغناطيسية أننا لا نراها ولا نشعر بها عادةً، فيصعب بالتالي تخيّلها، لكننا نرى بالتأكيد الأثر الذي تحدثه، مما يساعد خيالنا على تصوّرها. وأهم مظهر من مظاهر المغناطيس أن له طرفين متباينين؛ قطب شمالي وقطب جنوبي.

يجذب القطب الشمالي من المغناطيس نظيره الجنوبي من مغناطيس آخر، لكنْ القطبان الشماليان منهما ينفران من بعضهما. وبدايةً، عملاتي المعدنية ليست مغناطيسية، لكن المغناطيس قام بخدعة ذكية لجذبها، فداخل كل عملة جديدة من فئة ١ بنس يوجد مناطق مختلفة من الحديد لها حقول مغناطيسية تشير نحو اتجاهات مختلفة، ويطلق على هذه المناطق اسم نطاقات، وتصطف في كل واحدة منها جميع الحقول المغناطيسية للذرات، ويمتلك كل نطاق حقلًا مغناطيسيًا إجماليًا خاصًا به، لكن نظرًا إلى أن كل هذه النطاقات تمتلك شمالًا مغناطيسيًا يشير إلى اتجاهات عشوائية مختلفة، فإن كلها تبطل مفعول بعضها. وإثر تقريبي لعملة معدنية لأحد المغناطيسات التي بحوزتي، ينهمك الحقل المغناطيسي القوي من قطعة المغناطيس بدفع كل النطاقات المنفردة في العملة، فلا تتحرك الذرات لكن حقولها المغناطيسية تأخذ بالتأرجح بحيث يظل الطرف الشمالي بعيدًا قدر الإمكان عن شمال المغناطيس الذي بحوزتي، وهذا يترك جميع الأقطاب الجنوبية لنطاقات العملة مصطفة معًا لتكون هي الأقرب إلى المغناطيس. وبما أن الأقطاب المغناطيسية المتنافرة تتجاذب، ينجذب القطب الجنوبي للعملة إلى القطب الشمالي من المغناطيس فتلتصق بناءً على ذلك العملة. ما إن أبعدتُ العملة عن المغناطيس حتى عادت جميع نطاقاتها المغناطيسية إلى حالتها المعهودة من التوهان العشوائي.

إنها ظاهرة غريبة، لكن البشر أتقنوا الاستفادة منها عبر وسائل تغلغلت حاليًا في جميع مناحي حياتنا. لعل هذا يبدأ من العملات المعدنية ومشابك الأوراق الصغيرة ومغناطيس الثلاجات، لكن المغناطيس ما لبث أن تطور ليمسي جزءًا أساسيًا في عملية توليد الطاقة الكهربائية لعالمنا المعاصر، ولا يخلو أي جهاز يتغذى من شبكة محطات الكهرباء من المغناطيس، إلا أن المغناطيس لا يفعل ذلك وحده والطاقة المغناطيسية ليست سوى نصف المسألة، فهي مرتبطة بالكهرباء بأسلوب جوهري للغاية، وتحتل مكانة شديدة الحيوية في مجتمعنا المعاصر مع أننا تقريبًا لم نعد نلاحظ ذلك.

قال مؤلف الخيال العلمي آرثر كلارك : «إن أية تقنية متقدمة تتمتع بفاعلية في حياة الناس لا يمكن تمييزها عن السحر». إن الكهرباء والطاقة المغناطيسية مسؤولان معًا عن توفير أكثر التقنيات تقدمًا من أي شيء آخر تقريبًا. عندما نمعن النظر جيدًا في الفيزياء يظهر لنا بوضوح أن هاتين القوتين الخفيتين إنما هما وجهان لظاهرة واحد، ألا وهي الكهرومغناطيسية. فهما مترابطتان بقوة معًا وتؤثر كل واحدة منهما في الأخرى. لكن قبل أن ننظر في هذا الارتباط الوثيق، دعونا نبحث أكثر قليلًا في الوجه الذي ينتشر بيننا كثيرًا؛ الكهرباء. لسوء الحظ، أول مرة يواجه فيها معظمنا الكهرباء بطريقة مباشرة، ستلسعه لسعة مؤلمة.

***

سكنتُ لعامين في ولاية رود آيلاند التي تعد جزءًا صغيرًا ولطيفًا من شمال شرق أميركا، لقبها الرسمي هو «ولاية المحيط»، ويفوت أهلها المفارقة في تسمية الولاية الأصغر في الولايات المتحدة باسم أضخم المعالم على الأرض. وترتكز عقلية أهل رود آيلاند على ركيزتين؛ الساحل والصيف. فالحياة هناك تدور حول الإبحار بالقوارب وأكواخ السلطعون وسلطة الحلزون والشاطئ، لكن فصول الشتاء هنا باردة ويختفي بسببها السائحون ويخلد أهل الولاية في سبات شتوي، ويتجمد زيت الزيتون إذا أطفأتُ السخان عند خروجي.

أستيقظ في أفضل الأيام الشتوية على حالة سكون مميزة قبل حتى أن أفتح عينيّ لأرى أن الثلج قد هطل بين ليلة وضحاها. وبالنسبة إلى شخص مثلي ترعرع في مدينة مانشيستر الرطبة والداكنة، فإن هذه تعد من التجارب الماتعة جدًا، وقد أحببتها بكل ما فيها، اللهم فيما عدا لحظة متكررة بعينها. فبعد أن أرتدي حذاء شتويًا طويلًا وثيرًا، وأذهب لجرف الثلج عن طريقي بمجرفة، وأضحك في أثناء

ذلك على السناجب التي تظل تحفر في الثلج الأبيض المتراكم، أتحرك بقدمي بصعوبة لأصل إلى سيارتي والجمود والسكون يعم المكان. وفي كل صباح يسوده الثلج وعند لمسي السيارة أول مرة، أتلقى تحية متكررة بصدمة كهربائية مؤلمة وحادة، لم أعد أتذكر عدد المرات التي تكررت فيها هذه الصدمات.

أشعر دائمًا أن الغلط يقع على السيارة بطريقة أو بأخرى، لكن عندما أعيد النظر أجد أن اللوم لا يقع على السيارة البتة. عندما أمشي على الطريق الذي تغطيه الثلوج، فأنا أحمل بجعبتي حشدًا من الركّاب المتربصين في الخفاء والمتطلعين إلى منفذ للهروب. لم يكن الألم الناتج من تلك الصدمة الكهربية سوى عَرَض جانبي من عملية قفزهم من السفينة [التي هي أنا]. المسافرون هم بطبيعة الحال الإليكترونات، وهي الأجزاء الشديدة الضآلة من المادة، ومن أكثر كتل البناء الأساسية والجوهرية في عالمنا. ما يميّز الإليكترونات أنها لا تتطلب مسار جسيمات فاخر أو تجارب معقدة لنعرف أنها تتحرك من حولنا، وبوسع أجسامنا كشف تحركها مباشرة وذلك حسب الوضع الصحيح، ومن المحزن أن أجسامنا تتعرف إلى هذا الكشف تحت بند الألم.

تبدأ العملية كلها بما في داخل الذرة، إذ يوجد في صلب كل واحدة منها نواة تكوّن تقريبًا كل «محتوى» الذرة، ولهذه النواة شحنة كهربائية موجبة مكتنزة، وهي لا تكاد تبقى وحدها أبدًا. يتسم مفهوم الشحن الإليكتروني بالغرابة، لكنه هو ما يجعل عالمنا متماسكًا، إذ ثمة ثلاث كتل بناء تكوّن تقريبًا كل شيء نراه؛ ألا وهي البروتونات والإليكترونات والنيوترونات، وكلٌّ منها يرتبط بشحنة كهربائية مختلفة. البروتونات أثقل من الإليكترونات بكثير، ولها شحنة موجبة، أما النيوترونات فلها حجم البروتونات نفسه لكنها لا تمتلك شحنة كهربائية، وبالمقارنة مع ذلك فإن كل إليكترون يأخذ حجمًا ضئيلًا للغاية لكنه يمتلك شحنة سالبة تكفي لإحداث التوازن مع بروتون واحد، ويفرض هذا المزيج من كتل البناء التركيب والتكوين الذي يقوم عليه العالم الذي نعيش فيه، وتحتشد في مركز كل ذرة البروتونات والنيوترونات لتشكل معًا نواة ثقيلة، لكن الذرة تحتاج إلى أن تكون متوازنة كهربائيًا. ويؤثر الشحن الكهربائي في العالم لأن الشحنات المتعاكسة تتجاذب والشحنات المتماثلة تتنافر (كما شهدنا في حالة المغناطيس والعملات المعدنية في حقيبتي). إذن تتجمع الإليكترونات الضئيلة حول النواة الكبرى لأنها مشحونة بشحنة سالبة، وتنجذب بالتالي إلى الشحنة الموجبة الواقعة في المركز.

وتعمل النتيجة الإجمالية من الموجبات والسالبات على إبطال مفعول بعضهما ببعض، بيد أن التجاذب يقوم بمهمة تماسك الذرة ككل. المادة كلها التي نراها مليئة بالإليكترونات، لكن نظرًا لتوازن كل شيء فيها فإننا لا نلاحظها، غير أنها تصبح ملحوظة عندما تتحرك.

المشكلة هنا أنه عندما يظهر لنا في هذه اللعبة لاعبون ضئيلون ورشيقون مثل الإليكترونات، فإن الأشياء لا تبقى دائمًا متوازنة، فعندما تتلامس مادتان فغالبًا ما تعمد الإليكترونات إلى القفز من مادة إلى أخرى. يحدث هذا طوال الوقت، لكنه لا يشكل أهمية تذكر في الأحوال الطبيعية لأن الإليكترونات الزائدة عادةً ما تجد طريقة للعودة بسرعة كبيرة. المشي حول المنزل الذي أعيش فيه وأنا أرتدي الجوارب لم يمثل مشكلة، فقلة من الإليكترونات تقفز من البساط المصنوع من النايلون إلى قدمي مع كل خطوة، لكنها تجد لها طريقًا للعودة، وفور أن أرتدي حذائي الطويل المطاطي والمخطط بالصوف، تتغير الأمور قليلًا، فالإليكترونات المتنقلة تقفز من البساط إلى قاعدة الحذاء المطاطي كما في السابق، لكن مع أن الإليكترونات تتميز بالرشاقة ومرونة الحركة، إلا أن ثمة بعض المواد لا تسمح للإليكترونات بالتحرك من خلالها، وتُسمى هذه المواد عوازل كهربائية ، والمطاط أحدها. ويمتلئ المطاط بإليكترونات كثيرة خاصة به مما يجعله غير قادر على استيعاب أية إليكترونات إضافية. وفي الوقت الذي أحزم فيه حقيبتي للخروج وأعثر على معطفي وأرتب إفطاري، أكدّس في هذه الأثناء الإليكترونات وهي تقفز عليّ بصمت، مما يقود إلى انتشار إليكترونات إضافية حول محيط جسمي. ومع أول خطوة لي نحو الخارج، أصبح كالعربة أو السفينة التي تحمل على ظهرها بضعة آلاف المليارات من الإليكترونات، إنه عدد هائل، إلا أنه مع ذلك جزء ضئيل من عدد الإليكترونات في جسمي.

لماذا لم تهرب؟ كل إليكترون من هذه الإليكترونات الزائدة والمشحونة بشحنات سالبة يتنافر مع الآخر، مما يجعل من أي مسار بعيد أفضل من الثبات في المكان الحالي، لكن حذائي الطويل منعها من المغادرة نحو الأرض، لكنْ ثمة طريق هروب شائع؛ ألا وهو الهواء الرطب. يحتوي الهواء الرطب على جزيئات ماء كثيرة لكلٍ منها قسم موجب يمكنه استضافة الإليكترونات الزائدة لبرهة من الزمن. ويجوز للحشود الزائدة من إليكتروناتي في معظم الأيام أن تهرب واحدة تلو الأخرى على إثر ركوبها الرحلة مع الماء الطافي. غير أن الأيام الباردة بعد هطول

ثلج كثيف غالبًا ما يسودها الجفاف، ومع شح الماء في الهواء، فإن الأخير لا يتيح مخرجًا.
وهكذا، في كل يوم مثلج وجاف أتجه من البيت إلى سيارتي غير مدركة إطلاقًا لمليارات الركّاب الذين يحملون شحنات سالبة في جعبتي، إلى أن يستغلوا الفرصة. تقبع سيارتي على الأرض وهي كالخزان الممتلئ بالإليكترونات والأنوية المتوازنة، فيصبح الجزء من الثانية الذي تقوم فيه أصابعي العارية بأول ملامسة مع معدن السيارة أشبه بافتتاح نفق للهروب. يُعد المعدن موصلًا جيدًا للكهرباء، إذ تستطيع الإليكترونات من خلاله التدفق بسهولة، وتمسي إليكتروناتي المتنقلة التي تمور وتجيش عبر جلد طرف أصابعي حرةً أخيرًا عند احتكاكها بالسيارة، فتتشاحن النهايات العصبية في الجلد مع اندفاع حشد الإليكترونات وتجاوزه لمكانه السابق، إذ تلقى تحفيزًا مباشرًا من تدفق الإليكترونات، وهذا هو التيار الكهربائي. وهنا سأصب لعناتي على سحر الثلج الذي نسيته مؤقتًا.
تُعد الصدمة الكهربائية في أيامنا هذه من أكثر التجارب التي يحتك فيها معظمنا احتكاكًا مباشرًا مع الكهرباء، إلا أنها تحيط بنا من جوانب أخرى كثيرة. فجدران مبانينا وأجهزتنا الإليكترونية وسياراتنا وأنوار مصابيحنا وساعاتنا ومراوحنا كلها تعجّ بها، لكن الكهرباء لا تنحصر فقط بمظهر القوابس والأسلاك والدوائر الكهربية والمصهرات (الفيوزات). فكل هذه الأشياء ليست سوى جوائز بسيطة تسوّق للهيمنة البشرية على هذه الظاهرة. يزدحم كوكبنا (الأرض) بالكهرباء في أماكن كثيرة وغير متوقعة، حتى إن النحلة البسيطة تنشط باستثمار فوائدها.
فلنتخيّل يومًا هادئًا ودافئًا في حديقة إنكليزية، ويوجد عصفور على طرف من أطراف مروجها ينقر في شجرة نقرًا دقيقًا، وتبرز من ورائه صفوف من الزهور بهية المنظر، إلا أنها تخوض غمار معركة شرسة وبطيئة بحثًا عن الماء والغذاء وضوء الشمس، وتسعى كذلك إلى استحواذ اهتمام اللقاحات. ينساب شذى الياسمين والبسلات العطرة عبر الأعشاب معلنةً عن سلعتها ومتاعها، فتقترب نحلة طنانة من حوض الزهرة لتتفحص ما تعرضه. قد يبدو هذا مشهدًا مريحًا ووديعًا، لكنه بالنسبة إلى النحلة عملٌ مضنٍ، وتشكّل الفعالية فيه أهمية بالغة، ويكلفها بذل جهود هائلة للبقاء محلقة في الهواء. تخبط النحلة في هذه الحالة أجنحتها الصغيرة مئتي مرة في الثانية، وضربها المتواصل للهواء من القوة بحيث إنه يُنتج اهتزازات يمكننا سماعها، وهي الطنين. لو كنت أيها القارئ الكريم بحجم نحلة، فسيشكّل

الهواء بوجهك مقاومة أعظم بكثيرٍ من تلك التي يواجهها البشر، فيمسي دفع جزيئات الهواء كلها وتجاوزها والمرور عبرها عملية أصعب وكلّها عَناء، وأسلوب خبط الهواء بهذه الطريقة ليس أسلوبًا أنيقًا للتحليق، لكنه يجدي نفعًا، فتحوم النحلة في الهواء لمدة ثانية بجوار زهرة بتونيا قبل أن تقرر أنها ستكون محطة توقفها الآتية، وإثر تحليقها وقبل حتى أن تلمسها، يحدث شيء غريب، إذ تتناثر حبوب اللقاح التي كانت مستقرة في وسط الزهرة فجأة عبر فجوة الهواء لتتجه نحو فراء النحلة، ومع حطها على الزهرة يتناثر اللقاح عليها ويستقر مزيد منه على بَدَنِها. لم تأخذ حتى الآن أية رشفة من الرحيق، لكنها أصبحت ترتدي غطاء من البصمة الوراثية للنبات، ويبدو هذا المشهد وكأنها قفزت إلى سطح الزهرة عامدة.

لقد تبيّن أن تحليق النحلة يجعلها جذّابة، وحرفيًا لا يحدث ذلك لمظهرها أو سلوكها، إنما لأن نحلتنا اللطيفة مشحونة كهربائيًا، وإن كان بمقدار طفيف جدًا. مثلما حدث معي عندما تلقيت صدمة كهربية، يتكرر ذلك مع النحلة لأن بعض الإليكترونات قد انتقلت من مكانها، لكن لن يصاب أحد بأذى هذه المرة.

تحوم الإليكترونات التي تحملها النحلة حول حواف كل جزيء في جناحيها، وإذا كان ثمة شيء يندفع مارًا من النحلة بسرعة كبيرة (الهواء مثلًا) أو يتعرّض لخبط، فسيكون إليكترونًا، وهذا ما يحدث. يشبه هذا أن يفرك أحدهم بلّونة بقميص صوفي، إذ تنشأ هنا كهرباء ساكنة، ما يعني أن شيئًا ما يمتلك إليكترونات أكثر أو أقل مما ينبغي. مع خبط تلك الأجنحة المحمومة لجزيئات الهواء لتبعدها عن طريقها، فإن الإليكترونات من الجناحين تُفرك فتحوم خارجًا في الهواء، ويتبقى للنحلة الطائرة شحنة موجبة طفيفة لأنها لم تعد تمتلك إليكترونات تكفي لإبطال مفعول الشحنة الموجبة لكل البروتونات في ذراتها، إلا أنها كمية صغيرة ولا تكفي بالتأكيد لإحداث صدمة كهربية لإنسان.

تجذب النحلة عند اقترابها من الزهرة الإليكترونات ذات الشحنة السالبة إلى السطح، وتتنافر مع الشحنات الموجبة، ومثلما يشد القطب الشمالي للمغناطيسي نقيضه (الأقطاب الجنوبية المغناطيسية) ليقربه إليه، تشد بالتالي النحلة موجبة الشحنة الإليكترونات سالبة الشحنة، وعندما تصبح قريبة من الزهرة، ولكن لمّا تلمسها بعد، تسحب الشحنة الموجبة للنحلة سطح اللقاح بقوة تكفي لشد بعض الحبوب من الزهرة عبر الفجوة وناحية النحلة. يلتصق اللقاح على فراء النحلة كما

تلتصق البالونة ذات الشحنة الساكنة بالجدار. وعندما تطير النحلة إلى الزهرة التي تليها سينتقل اللقاح معها، على أن التلقيح الذي تضطلع به النحلة سيعمل عمله من دون الكهرباء الساكنة، مثلما يلمس فراء النحلة اللقاح عندما تحط على الزهرة، ويعلق اللقاح بالفراء لأنه دبق وقابل للالتصاق، لكن انتقال بضعة إليكترونات طليقة حتى يتمكن اللقاح من القفز من الفجوة سيمنحه بالتأكيد دفعة كبيرة.

تتصف الإليكترونات بضآلة الحجم والقدرة على الحركة، فعندما تتحرك شحنة كهربائية فالإليكترونات هي عادةً ما يوفر عملية النقل. إنها تتحرك كثيرًا، لكننا لا نلاحظ هذه الحركة عادةً. تتنافر الشحنات السالبة بين بعضها ، فإذا تجمّع وتراكم عدد كبير منها في مكان واحد سيدفع بعضُها بعضًا بعيدًا وستنجرف عن بعضها رويدًا رويدًا، فلا تنشأ شحنة بارزة ذات بال. لكنْ ثمة وضعان محتملان لمنع تشتت الشحنة وحبسها؛ إما ألا يكون أمام الإليكترونات أي مكان تذهب إليه، أو أن تصبح غير قادرة على الحركة. عندما تطير النحلة فإن الشحنة الموجبة فعلًا لا تجد مكانًا تذهب إليه، فتعمل على التنامي على الجزء الخارجي من جسم النحلة.

لكن الوضع الآخر المتمثل بعدم قدرة الإليكترونات على الحركة، هو ما يمنحنا التحكم الرائع بالكهرباء. لو استقرّت النحلة على أصيص نبات بلاستيكي فلن تستطيع الشحنة الموجبة أن تتحرك داخل البلاستيك لأنه عازل كهربائي، ويعني ذلك أنه على الرغم من امتلاك البلاستيك كثيرًا من الإليكترونات الخاصة به إلا أنها مقيّدة بشدة بجزيئاتها ولا تستطيع الحركة. يصعب إضافة بعض من الإليكترونات أو الحذف من هذا الخليط لعدم قدرتها على التسلل من بين الأخريات. هذا ما يعرّف العازل الكهربائي، فهو يفتقر إلى السعة التي تمكنه من أخذ إليكترونات جديدة أو منحها، ولذلك عندما تحط نحلة رحالها على أصيص نبات بلاستيكي تبقى الشحنة الموجبة ثابتة على النحلة، أما مذراة الحديقة المعدنية فستستولي من النحلة على شحنتها فورًا؛ لأن المعادن موصلات كهربائية جيدة، ويمكن للإليكترونات التنقل بينها وإلى داخلها بسهولة كبيرة، وهذا هو سبب سلوك المعدن هذا السلوك في ذرّاته التي تتشارك كلها بإليكتروناتها الخارجية من خلال تجمعات محيطة وضخمة. وبما أن هذه الإليكترونات تتحرك طوال الوقت ولا تتبع أيٌّ منها ذرّةً بعينها، يسهل هنا الإضافة لها أو الإنقاص منها.

ما كان لمجتمعنا أن يمتلك الشبكة الكهربائية ويتحكم بها إلا لامتلاكنا لهذين الصنفين من المواد، ألا وهما الموصلات والعوازل الكهربائية، فهذا كل ما

نحتاجه؛ فسيفساء من المواد التي تظهر كمتاهة للإليكترونات حيث تكون فيها بعض المسارات أسهل من غيرها، ووسيلة للتحكم ببعض أجزاء ذلك النمط، وفور حصولنا على هذه الأساسيات، تتوفر بين أيدينا قدرة مذهلة على التحكم بالعالم.

***

إن الكهرباء الساكنة ما هي إلا بداية، لكن تبرز الطاقة الحقيقية حينما نبدأ بتحريك الإليكترونات والشحنات الكهربائية بأساليب أكثر نظامية ومنهجية. فشبكتنا الكهربائية، وهي الأسلاك الممتدة من محطة توليد الكهرباء التي نستخدمها لتدوير الطاقة، تعد موردًا مذهلًا لذلك. فمن خلال دفع الشحنات الكهربائية نحو الأسلاك والتحكم بها من خلال استخدام أزرار ومضخمات صغيرة، يصبح بمقدورنا إيداع الطاقة وتخزينها حينما نحتاج إليها. والدائرة الكهربائية ليست سوى وسيلة لإعادة توزيع الطاقة الكهربائية، وأهم مظهر في الدائرة الكهربائية أنها «دائرة» وحسب، فلا بد أن تكون على شكل حلقة حتى تتمكن الإليكترونات من الحفاظ على دوران غير منقطع حولها ومن دون أن تتنامى على الطرف الأقصى. كل دائرة كهربائية يجب أن تبدأ وتنتهي عند مزود للطاقة، وهو شيء يحافظ على إبقاء الإليكترونات في حالة حركة، فتستوعبها عند طرف، وتدفعها قدمًا ثم تعيدها مرة أخرى في الدائرة عند الطرف الآخر. يشبه مزود الطاقة نوعًا ما المصعد الذي يحمل أشخاصًا عاليًا إلى قمة منحدر طويل جدًا. ويستطيع هؤلاء الأشخاص النزول من المنحدر والصعود مرة أخرى إلى القمة، وهكذا دواليك بطريقة دائرية طالما أن المصعد يمنحهم طاقة كافية للعودة إلى نقطة البداية. والقاعدة المترتبة على كل دائرة كهربائية أن عليها أن تتخلى عن الطاقة الزائدة كلها من مزود الطاقة قبل عودة الإليكترونات إلى النقطة التي بدأت منها.

انخراط الإليكترون بحركة تبادلية على سلك أمر جيد ولا غبار عليه، لكن ما الذي يدفعه حول الدائرة الكهربائية؟ قلنا فيما سبق إن أول ما يجب الحصول عليه هو موصل جيد للكهرباء، أي مادة توفر مسارًا ليتحرك عليه الإليكترون، لكن العامل الآخر المطلوب هو القوة التي يُدفع من خلالها.

يتشارك مغناطيس الثلاجة، والبالون المشحون بكهرباء ساكنة، بالغرابة للسبب نفسه؛ فهما يظهران قابلية الحصول على حقل قوة خفي. وبعبارة أخرى: يقوم جسم ثابت بدفع جسم آخر قريب منه أو سحبه لكننا لا نرى ما يقوم بذلك الدفع. لم يحدث وجه الشبه من قبيل المصادفة، لكن حلقة الوصل الحقيقية لن تتضح إلا بعد

تدوير الإليكترون أو الحقول المغناطيسية. أولًا، فلنعد إلى مبدأ حقل القوة، إذ ليس البشر وحدهم الذين يستفيدون منه.

يسود قاع الجدول متاهة معتمة من الصخور والنباتات وجذور الأشجار، وعندما يحل وقت الغروب ويتدفق الماء الموحل بنوع من الفتور في الجدول وفوق معوقات المسار المائي، يبرز من تحت حصاة وبمسافة متر من تحت السطح قرنا استشعار يرتعشان عند اختبارهما للماء، وهنا يتحرك جسم بالجوار فيختفي القرنان، يظهر هنا القريدس القمّام [يقتات على الجيف] وهو جائع لكنه غير منيع ويسهل استهدافه. من جهة أخرى ينحدر من مجرى التيار حيوان صياد داخل الماء القاتم، ويجدف على السطح بقدميه الأماميتين الوتريتين متجهًا نحو وسط الجدول، ثم يغلق عينيه وأنفه وأذنيه ويغوص؛ إنه خُلد الماء المستعد لتناول وجبة العشاء.

لو أن القريدس يبقى بلا حراك لظل بأمان. يسبح خُلد الماء بسرعة وينتقي طريقه بثقة عبر المتاهة مع أنه حاليًا في حالة عمى وصمم وغير قادر على الشمّ. يمشّط بخطمه المسطح الماء من جانب إلى آخر ليجري مسحًا على الوحل، يشعر قريدس جائع آخر بحركة الماء مع اقتراب خلد الماء، ويحدث فرقعة بذيله فيتأرجح متقهقرًا نحو الحصى التي كان فيها. ينعطف نحوه الصيّاد. الإشارة التي أجبرت عضلة ذيل القريدس على الانقباض كانت بمنزلة إشارة كهربائية، وقد كوّنت النبضة الكهربائية حقلًا كهربائيًا مؤقتًا يحيط بالقريدس، وأحدث هذا الاضطراب الكهربائي وميضًا عبر الماء المجاور، ليصدر تموجات دفع وسحب ضئيلة على الإليكترونات القريبة من المكان، لم تستغرق الفرقعة سوى جزء من الثانية فقط لكنها كافية. يمتلك خلد الماء مصفوفة مكوّنة من أربعين ألف مجَسّة كهربائية في السطحين العلوي والسفلي من خطامه، وحركة الماء المتزامنة والنبضة الإليكترونية هما كل ما يحتاجهما ليحصل على اتجاه ومدى ينطلق نحوهما. يضرب الخطام ضربة قوية في الرمل في المكان المناسب بدقة ليصبح القريدس في خبر كان.

حركة القريدس تدينه لأن فعل الحركة في هذا الظرف قد غيّر من حقله الكهربائي، وكل شحنة كهربائية تدفع أو تسحب الشحنات الكهربائية الأخرى من حولها. وتسمية الحقل الكهربائي ليست سوى طريقة لوصف مدى قوة ذلك الدفع أو السحب في أماكن مختلفة، بينما يعني التحدث عن الإشارات الكهربائية أن شحنة كهربائية قد تحركت لمكان ما، وأن مخلوقًا قريبًا من ذلك قد شعر بالتغيّر لأن الدفع باتجاهه

قد زاد أو نقص. نظرًا إلى أن كل الحركات العضلية تنطوي على تحريك شحنات كهربائية داخل العضلات، فإنها جميعًا تولّد حقولًا مغناطيسية. وبالتالي يعد نظام الاستشعار الكهربائي [أو المجسات الكهربائية] أسلوبًا شديد الفاعلية تحت الماء إذا اقترب الحيوان من فريسته، إذ يصبح التمويه اللوني الكثيف هنا غير مُجدٍ لإخفاء أية إشارة كهربائية، لا سيّما أنّ أي حيوان لا بد أن يتحرك بطبيعة الحال، وستولّد أدنى حركة صغيرة إشارة كهربائية تؤدي إلى كشف المستور.

لو أن الحال هكذا، فلمَ لا يزداد وعينا بالحقول الكهربائية التي نولّدها بأنفسنا؟ الإجابة من شقين؛ الأول: لأن تلك الحقول لا تتمتع بالقوة الكبيرة، أما الثاني: وهو الأهم لأن الحقول الكهربائية تضمحل بسرعة في الهواء مما لا يعمل على توصيل الكهرباء. ويُعد ماء الجدول (وخصوصًا ماء المحيط المالح) موصلًا جيدًا للكهرباء فتصبح الإشارات الكهربائية فيه قابلة للكشف من مسافات بعيدة. جميع أنواع الكائنات الحية تقريبًا التي تستخدم نظام المجسات الكهربائية هي من الكائنات البحرية (النحل، والنضناض ، والصراصير هي الاستثناءات المعروفة).

تتحرك الإليكترونات في الدائرة الكهربائية لأن ثمة حقلًا كهربائيًا داخل السلك، يدفع الحقل الكهربائي كل إليكترون ليتحرك قدمًا إلى الأمام، لكن من أين يأتي الحقل الكهربائي؟ أفضل مكان نبدأ منه لشرح ذلك هو البطارية؛ تأخذ البطاريات أشكالًا وأحجامًا عدة، لكن ثمة بطاريات بعينها لن أنساها ما حييت، وهي البطاريات البحرية الكبيرة، وقد قلقت عليها لأنها طَفَتْ بِحُرّيّة في ظل عاصفة ضخمة، لتمدني بالطاقة في محاولتي الوحيدة لإجراء تجربة مهمة.

إذا أراد أحد دراسة فيزياء سطح المحيط في أثناء العواصف فمن البدَهيّ أن يذهب للنظر في ذلك السطح، إن المحيط ذو بيئة معقدة للغاية، مما يجعل التنظير فيه من مكتب دافئ ومريح أمرًا محدود الفائدة، إلا إذا كان الباحث واثقًا كل الثقة من أن ما يعمل عليه يستند بالقطع إلى أرض الواقع، لكن حتى عندما نصل إلى المحيط، على ظهر سفنٍ تبعد أميالًا عن اليابسة، وتقع تحت سيطرة بحور هائجة، فإننا نجد أنه ما يزال من الصعوبة بمكان بلوغ المنطقة التي أهتم بها؛ ألا وهي الماء الذي يقع تحت السطح بأمتار قليلة فقط. ومعرفة ما يجري هناك يحسّن من إدراكنا لكيفية تنفّس المحيط، ويسهم إسهامًا جيدًا بتحسين نماذج أحوال الطقس والمناخ، لكن رصد التفاصيل ومعاينتها يتطلب الحضور في قلب أحداثها، غير أن المحيط من الأماكن العنيفة والخطيرة والمتقلبة، مما يجعل دخوله صعبًا، وأنا

لا أستطيع السباحة في مياهه، لكن تجاربي يتحتم عليها ذلك! تتطلب أجهزة التجارب تزويدًا بالطاقة الكهربائية عندما تطفو على السطح في الأمواج مستقلةً عن السفينة، ولا توجد لها قوابس لوَصْلِها بها، ولذلك يجب أن نعتمد على البطاريات. ولحسن حظي، تعمل الدوائر الكهربائية بشكل جيد عندما تظهر نزولًا وصعودًا عند السطح تمامًا كما تعمل وهي على الأرض الجافة.

***

تجهّم رئيس البحارة وهو ينظر إلى الأفق، وحشر يديه عميقًا في جيب قميصه الملون، ومشى على طول سطح السفينة نحوي، كان ذلك في نوفمبر/تشرين الثاني في شمال المحيط الأطلسي، حيث لم أرَ اليابسة منذ أربعة أسابيع. كان كل شيء دائمًا يصعد أو يهبط مع تشبثنا ببحر داكن يمور وسط سماء معتمة تحاصرنا من كل اتجاه. انزلق شريط المسجلة الكهربائية الذي وضعته لتوي على سطح السفينة في لحظة انشغالي عنه؛ انزلق على السطح إلى أن أوقفه رئيس البحارة بحذائه، وبدت لهجته الأمريكية الشمالية الغربية (لهجة بوسطن) مضحكة في هذا الوقت، مع أن هذه البيئة الوعرة لا تصلح للطرفة، حيث قال: «كم سيطول الأمر معك؟».

كان أسوأ أمر عندي في تطبيق التجارب على البحر، وما زال؛ هو إجراء الفحوصات الأخيرة قبل ترك التجارب تطفو حرة على الماء. تصيبني حينها العصبية، إذ تقع مسؤولية ذلك علي وحدي. استخدمت لقياس الفقاعات في أسفل الأمواج المتلاطمة عوامة صفراء كبيرة تحتوي على عدة أجهزة قياس متنوعة ومربوطة بها. كان رئيس البحارة مسؤولًا عن توجيه هذه الآلة الضخمة نحو البحر المائج بعيدًا عن السفينة، لكن تحتم الحرص على جهوزيتها التامة. كانت العاصفة القادمة كبيرة ورغبتُ بشدة بالحصول على بيانات جيدة منها. أجبت عن سؤاله بقولي: «أنا على وشك تركيب قوابس البطاريات، ثم سأجهز للبدء». كانت العوامة الصفراء الضخمة التي يبلغ طولها ١١ مترًا، والتي حملت أجهزة تجاربي، مربوطة بسطح السفينة بإحكام إلى أن يحين وقت إطلاقها بأمان. بدأت بكاميرتي المدرعة قرب القمة، ووضعت يدي على موصل التيار الكهربائي، وأوصلت السلك من هناك إلى أسفل العوامة، حيث توجد البطاريات الكبيرة، ثم أدخلته في القابس، ومن ثم عدت إلى أجهزة الرنين الصوتي، وبعدئذ مَرّرتُ سلك الطاقة وصولًا إلى البطاريات، ثم وصَلْتُه بالقابس، وكنت أتفقد تلك الوصلة وأثبتها، وأعيد تفقدها مرة أخرى، ثم أعود مجددًا إلى الكاميرا. بإمكان هذه التجارب أن تُنفّذ

تحكمًا معقدًا وحساسًا إلى أبعد حد في العالم الفيزيائي، لكن هذا لا يتم إلا عند توفر طاقة كهربائية. ومزودات الطاقة هنا هي أربع بطاريات بحرية مصنوعة من الرصاص الحمضي باهظ الثمن الذي يَزِنُ ٤٠ كيلوغرامًا لكل منها، وهي بطاريات لم يطرأ على تصميمها الأساسي كثير من التغيير منذ اختراعها في سنة ١٨٥٩، لكنها ما تزال فعالة.

عندما حان الوقت اجتمعنا نحن العلماء بمعاطفنا الواقية الشمعية على الطرف الآخر من سطح السفينة، وتولى العملية والرافعة طاقمُها ليحركوا العوامة الضخمة المتأرجحة إلى الجانب ونحو المحيط المظلم، ومع انفلات الحبل الأخير الذي كان يمسك بها، حدث تحوّل غريب في المشهد، إذ أمست العوامة الصفراء الضخمة كقطعة هشة وأشبه بالحطام العائم، ولا تظهر من بين الأمواج إلا كنقطة ضئيلة مقارنة بالمحيط. انتشرت أحاديث عبر سياج السفينة عن الكيفية التي ستستقر بها العوامة في الماء ومدى سرعة انجرافها بعيدًا عن السفينة، لكنني لم أكن أفكر بأي شيء من هذا، بل فكرت بالإليكترونات.

بدأت تحت مستوى سطح البحر رقصة الإليكترونات، إذ كانت تتحرك لتخرج من طرف البطارية وتدور في الدوائر الكهربائية التي تحملها العوامة، ومن ثم تعود إلى الجانب الآخر من البطارية، كانت عددًا ثابتًا من الإليكترونات المقيدة في الدائرة الكهربائية، وكلها تدور حول الحلقة ذاتها. الإليكترونات لا تنضب ولا تستنزف بل تظل تدور وتدور. وتكمن الخدعة في أن الدائرة تأخذ الطاقة لتدفعها من حولها، وهي بدورها تتخلى عن تلك الطاقة مع انتقالها، ومصدر تلك الطاقة هو البطارية التي تُعدّ جهازًا مبتكرًا للغاية.

يتجلى الجانب الذكي من البطاريات في التحاقها بسلسلة من الأحداث، إذ تُزود كل وصلة في السلسلة بالإليكترونات التي تتطلبها الوصلة التالية، وهكذا فور أن تتصل البطارية بدائرة كهربائية، فإن كل شيء يكون في مكانه الصحيح لتدفق الإليكترونات حول الحلقة الدائرية. ولهذه البطاريات البحرية قطبان أو طرفان ظاهران لتوصيلهما بالعالم الخارجي، وكل قطب من قطبي البطارية موصول بأحد صفيحتي الرصاص اللتين يجب ألا تتلامسا، والفراغ بين صفيحتي الرصاص يملؤه الحمض، وهو ما يفسر تسميتها ببطاريات الرصاص الحمضي. وثمة طريقتان يمكن للرصاص التفاعل فيهما مع الحمض؛ أولهما: تتطلب إليكترونات زائدة من مكان ما، والأخرى هي التي تتخلى فيها عن إليكترونات زائدة. وتُشحن

بطاريات الرصاص الحمضي عندما يتلقى هذان التفاعلان دفعًا لأقصى مكان يمكنهما الذهاب إليه.

عندما قمت بتوصيل الآلة بكل بطارية فإنني وفّرتُ مسارًا كهربائيًا بدءًا من صفيحة الرصاص ومرورًا بآلاتي وانتهاءً بصفيحة الرصاص الأخرى، ومن ثم كانت هناك آخر القطع الحاسمة في هذا الخليط المتشابك؛ كان يوجد بسبب الكيمياء في ألواح الرصاص حقل كهربائي في السلك، إذ دُفعت الإليكترونات على طول السلك من صفيحة رصاص نحو الأخرى، لكن لم تتمكن من العبور من بين الحمض، فبقي لها خيار واحد؛ ألا وهو الدائرة الكهربائية الخارجية، أي الطريق الطويل الدائري. وفور أن يتاح للإليكترونات مسار حقل كهربائي يدفعها نحوه، يمكن للتفاعلات أن تبطل مفعول نفسها نظرًا لاكتمال السلسلة. تعطي مجموعة من ألواح الرصاص إليكترونات للحمض الذي يمرر بدوره هذه الشحنة إلى الرصاص في اللوح الآخر، ويأخذ الرصاص هناك الإليكترونات على إثر تفاعلها، وتستمر العملية برمتها بسبب قدرة الإليكترونات حينئذ على الحركة الدائرية حول الدائرة الكهربائية، وإعادتها عند المجموعة الأولى من الألواح. والحقيقة المهمة فعلًا أنه على مدار هذه الرحلة عبر الكاميرا في الخلف، يتوفر للإليكترونات بعض من الطاقة الزائدة لتتخلص منها؛ هذه هي الكهرباء. وإذا رتبناها بحيث تكون في طريقها، فإنها تمر خلال دائرة كهربائية معقدة. إذن: ها قد نجحنا، إذ يمكننا الآن الانتفاع من تلك الطاقة، وسنجد في أيدينا بطارية مفيدة.

اتكأت على سياج السفينة أراقب العوامة الصفراء، وأمعنت بتخيل تلك الرقصة، ويفترض أن الكاميرا ستكون في وضع التشغيل، فتفتح بذلك مسارًا للإليكترونات من البطارية لتتقافز بطريقها من العوامة إلى أن تستقر في غلاف الكاميرا. ويجب التحكم بالمكان الذي ستتجه نحوه الإليكترونات لأننا نعلم مسبقًا أنها ستسلك المسار الأسهل، فنعمل على ترتيب مسارٍ عبر تلك المتاهة، مصنوعٍ من مادة موصلة للكهرباء. وسلك الطاقة معدني، مما يسهل مهمة الإليكترون للعبور من خلاله أكثر من التغليف البلاستيكي حول السلك، فنعلم أن الكهرباء ستتدفق في السلك، ولن تهرب نحو المادة المحيطة. أما ما وراء ذلك فإن العنصر الأساسي الأهم للتحكم هو مفتاح التشغيل. والمفتاح المغلق مجرد مكان في الدائرة الكهربائية، حيث يتلامس فيه جزءان من السلك الكهربائي، وهما غير ملتصقين معًا، لكنهما عندما يتلامسان يتاح للإليكترونات أن تتحرّك بينهما. وعندما نريد إيقاف التدفق، فما

علينا سوى إبعاد أحد طرفي السلك عن الآخر، ويتوقف التدفق الكهربائي نظرًا لعدم توفر طريق سهل لتمريره.
فور دخول الإليكترونات إلى الكاميرا فإنها تنقسم، حيث ينتقل بعضها داخل الكمبيوتر وبعضها الآخر إلى الكاميرا نفسها، والأمر المميز في الدوائر الكهربائية أن الطرق كلّها في النهاية « تؤدي إلى روما»، وإما أنها تعود إلى البطارية في مثل هذه الحالة. أما العوامة الصفراء الكبيرة فليست سوى هيكل لهذا التدفق المتفرع للإليكترونات التي ما تنفكّ تولّد حقولًا مغناطيسية وكهربائية، فتحدث دفعًا وسحبًا على مغاليق الكاميرا، وتعمل بوصفها مؤقتات، ومولّدة دفقات من الضوء والبيانات المسجلة بتسلسل كبير ومعقد التزامن، وذلك قبل أن تنتقل عائدةً إلى البطارية.
يحدث كل ذلك في الوقت الذي تتلقى فيه العوامة دفعًا قويًا من الأمواج الهائلة (يصل ارتفاعها أحيانًا إلى ٨-١٠ أمتار) لعاصفة في المحيط الأطلسي. تمايلنا مع الأمواج على ظهر السفينة البحثية وانتظرنا، ولا يمكن لأحدنا أن يمارس حياته بجاذبية مضطربة وصعوبة في التشبث في مكان كالسفينة، إلا من خلال تثبيت الأشياء بلاصقات من نوع فيلكرو أو أسلاك مطاطية أو حبال. اكتملت عقب ثلاثة أو أربعة أيام التفاعلات الكيميائية في البطارية، إلى أن عادت لحالتها الأصلية غير المشحونة. ولم يعد هناك طاقة مخزّنة، وتوقف دفع الإليكترونات حول الدوائر الكهربائية، وآن للرقصة أن تتوقف. عادت العوامة لعهدها الأول كقوقعة جامدة من المعدن والبلاستيك وشبه الموصلات، لكن البيانات قد حُفظت سالمة في ذاكرة الحاسوب.
تعقبنا بعد انقضاء العاصفة ببضعة أيام أثر العوامة، وقَطَّرناها إلى متن السفينة مرة أخرى. تعجبني دائمًا مهارة طاقم السفينة البحثية باصطياد الأشياء من البحر. فالسفن لا تتحرك باتجاه جانبي كما أنها بطيئة بالانعطاف وتغيير الاتجاه، ويضطر القبطان، إذا سعى لِيحظى بفرصة الإمساك بالعوامة، إلى أن يحرك سفينته التي يصل طولها إلى ٧٥ مترًا بمحاذاتها ليتحكم بتجنب الاصطدام بالعوامة، وكذلك ليقترب بمسافة تمكّن رئيس البحارة من أن تكون بمتناوله، فيصطادها بخطّاف السفينة الطويل. وعادة ما ينجحون بالإمساك بهكذا أشياء من أول محاولة.
ثم حان دورنا مرة أخرى. كانت البطاريات موصولة بمزود الطاقة الخاص بالسفينة، الذي يوفر الطاقة اللازمة لدفع التفاعلات الكيميائية لتعود إلى الاتجاه

الآخر لتتأهب للانتشار التالي. نُزعت آلات التجربة وجُلبت إلى الداخل، باستثناء الكاميرا التي تركناها في العراء والبرد القارس، لأن لرقصة الإليكترونات جانبًا سلبيًا، وطالب رسالة الدكتوراه المسكين الذي أشرفُ عليه على وشك أن يعاني من ذلك.

لعل أبرز قانون فيزيائي أساسي نعرفه حق المعرفة، وثبتت دقته مرة تلو الأخرى، ولم ينلْ منه شيء من البطلان قط؛ قانون حفظ الطاقة الذي ينص على أن الطاقة لا يمكن بحال من الأحوال خلقها أو تدميرها، بل تتغير من شكل إلى آخر فحسب. وللبطارية طاقة كيميائية، وتُحوّل التفاعلات الكيميائية ذلك إلى طاقة كهربائية، ومن ثم تتحرك الطاقة في مكان ما بين طرفي البطارية، لكن إلى أين ذهبت؟

تقع أحيانًا بعض الحوادث، التقطت الكاميرا الصور، وبرامج الحاسوب جارية على قدم وساق، والبيانات قد سُجّلت، لكن كل ذلك لم يحفظ الطاقة الكهربائية في مكان جديد، فقد رشحت الطاقة وتسربت من دون أن يلحظها أحد. ثمّة ثمن لا بد من دفعه لتحريك الإليكترونات، ألا وهو توليد الحرارة، إذ تكلف أية مقاومة كهربائية ضريبة على الطاقة الكهربائية التي تتحرك عبرها، ومع أن الإليكترونات ستنتقي أقل المسارات إلا أن ضريبة ما لا بد أن تُدفع .

غُلّفت الكاميرا بمادة بلاستيكية سميكة لا تنقل الحرارة بفاعلية، وعندما تعمل الكاميرا تتحول كل طاقة الإليكترونات إلى حرارة مع تدفقها إلى النظام. لم يكن هذا يمثّل قلقًا في الماء لأن درجة حرارة المحيط الذي كنا فيه ٨ درجات مئوية، مما يجعله يشتت أية حرارة ويبرد مكان تغليف الكاميرا بفاعلية، إلا أن الهواء لا يؤدي هذه المهمة ولا يصل إلى مستوى ذلك التبريد. كان الحاسوب يعمل في المختبر لتنزيل البيانات، وظلت الكاميرا واقعة تحت تسخين زائد. بذلنا أقصى ما بوسعنا، ولم نجد حلًا سوى تركها في الخارج موضوعة في جردل مملوء بالماء المثلج (وما أعاننا على ذلك أن في السفينة آلة لصنع الثلج)، فاضطر طالب الدكتوراه عندي أن يقضي تسع أو عشر ساعات بتنزيل البيانات على دفعات، إذ كان يبدأ بالتنزيل ويتوقف، وهكذا لكي يحافظ على تدفق البيانات من ناحية، ومن ناحية أخرى ليمنع الكاميرا من الاحتراق، فهكذا يكون رونق العلم الميداني.

يفسر هذا الأمر أسباب ازدياد سخونة أجهزة مثل الحاسوب المحمول والمكانس الكهربائية ومجففات الشعر عند استخدامها، فالطاقة الكهربائية لا بد أن تتجه إلى مكان معيّن، وإن لم تتحول إلى أنواع أخرى من الطاقة، فمآلها الحتمي إلى

الحرارة. تستخدم مجففات الشعر ذلك لتسخّن الهواء، إذ صُممت دوائرها الكهربائية لتفرغ الطاقة على شكل حرارة بطريقة مكثفة جدًا، لكن مُصَنّعِي الحواسيب المحمولة يبغضون الحرارة لأنه كلما زادت سخونة الدوائر الكهربائية قلّت فاعلية الحاسوب، لكن لا مفر من استخدام الطاقة الكهربائية من دون دفع ضريبة الحرارة.

وهكذا فإن الإليكترونات تتدفق نظرًا لدفع حقل كهربائي لها، والحقيقة أن البطارية لا توفر الإليكترونات، فكثير منها موجود بغزارة أصلًا في العالم، بل إن حقيقة ما تعمله البطارية يتمثل بتوفير حقل كهربائي لتحريك تلك الإليكترونات. وإذا اكتملت الدائرة الكهربائية يدفع الحقل الكهربائي الإليكترونات حول الحلقة. حتى الآن كل شيء بسيط، لكن ما هي كل تلك الأرقام الموجودة على القوابس، والمكتوبة بخط صغير على خانة تحذيرات السلامة؟ لعله من الأفضل الالتزام بالنهج البريطاني لحل جميع المشكلات؛ اعثر على علبة البسكويت ثم شغّل الغلاية.

أهم ما يميّز استراحة الشاي أنها تتضمن أمرين؛ الشاي والاستراحة. لم يدرك بعض زملائي الأمريكيين هذين الأمرين، إذ اعتادوا أن يجلبوا معهم هموم العمل ليناقشوها وهم يتناولون الشاي. لكن بالنسبة إلى البريطانيين فإن حركة «تشغيل الغلاية» يرمز إلى تهدئة الإيقاع. سأفعل ذلك الآن، وفي هذه الحال فإنني سأملأ غلايتي الكهربائية بالماء وسأُوصل قابسها بمصدر الكهرباء الأساسي، وسأسمح لذهني بالاستراحة لبرهة في الوقت الذي تقوم فيه الغلاية بمهمتها.

الضغط على مفتاح التشغيل يفعل شيئًا بسيطًا، فهذه الضغطة تغير مكان قطعة معدنية، وتضع آخر جزء من الدائرة الكهربائية في مكانه الصحيح. وبذلك صار لدينا مسارٌ عبر متاهة الغلاية، وممرٌ كله مصنوع من الموصلات الكهربائية التي تنتقل عبرها الإليكترونات بسهولة، وهذا الممر لا يعرقله الآن أي شيء، ويجري من أحد أصابع القابس متحركًا عبر الغلاية ليعود إلى إصبعٍ ثانٍ من القابس. ولا يأتي في هذه الحالة الحقل الكهربائي من البطارية، بل من فتحة التوصيل الكهربائي التي يركب عليها القابس.

يوجد في القابس العادي ذي الأصابع الثلاث؛ إصبع طويل يعلو الإصبعين الآخرين، ويسمى هذا الإصبع بـ«الأرضي»، وهو منفصل تمامًا عن بقية أجزاء الدائرة الكهربائية، ويؤدي بفاعلية المهمة التي أدتها سيارتي فيما سبق ذكره في أوقات الصباح التي يكسوها الثلج، فدور إصبع القابس الأرضي هو توفير مسار

تفريغ للإليكترونات في حالة تراكمها في المكان الخاطئ (فلنقل على الجانب الخارجي من الغلاية). إذن لا يدخل ذلك ضمن المسار الذي يمد الغلاية بالكهرباء.
أما الإصبعان الآخران الصغيران فسيتكفلان بعملية دفع الإليكترونات، ويتصرف أحدهما كشحنة موجبة ثابتة والآخر كشحنة سالبة ثابتة. عند ضغطي على زر تشغيل الغلاية فأنا أقوم هنا بربط مسار له حقل كهربائي جارٍ، وتشعر الإليكترونات على طول هذا المسار بدفع يبعدها عن الجانب السالب، والانجذاب نحو الجانب الموجب. وهكذا، ما إن أصل إلى إبريق الشاي وآتي بأكياسه، حتى تبدأ الإليكترونات في هذه الأثناء بالحركة الدائرية، ومع أنها تهتز في محيطها فعلًا، إلا أن لها الآن ميلًا طفيفًا للحركة كتيّار في السلك. وما يعنيه ذلك إجمالًا أنه ثمة شحنة كهربائية تتحرك من إصبع في القابس مرورًا بالغلاية وانتهاءً بالإصبع الآخر للقابس.
ينبهني ملصق تحذير في أدنى الغلاية أنها مصممة لتعمل بدرجة ٢٣٠ فولط، ويتعلق الجهد الكهربائي (الفولطية) بقوة الحقل الكهربائي الذي يدفع الإليكترونات في الدائرة الكهربائية، فكلما ازدادت قوة الحقل الكهربائي، زاد معدل الطاقة التي يجب على كل إليكترون التخلص منها خلال ذلك المسار. هذا ما ينبهنا إليه الجهد الكهربائي العالي، إذ يشير إلى مقدار الطاقة المتاحة للاستخدام على طول مسار الدائرة الكهربائية. أما فيما يخص التناظر بين الجهد والانزلاق الذي سبق ذكره، فإن الجهد الكهربائي يناظر ارتفاع الزلاقة الذي يتعين على الإليكترونات أن تبدأ عندها قبل عودته إلى الإصبع الآخر للقابس. كلما ارتفع الجهد الكهربائي زاد معدل الطاقة التي يتحتم على كل إليكترون أن يتخلى عنه.
غسلتُ إبريق الشاي جيدًا ووضعت أكياس الشاي فيه، أما الحليب والكوب فقد أخرجتهما وهما جاهزان. أنتظر الآن الماء ليسخن وهذا لا يستغرق سوى دقيقتين، لكن عندما أكون عطشانة لا أقوى على الصبر، هيا بسرعة! أعرف ما هو الجهد الكهربائي لمصدر الطاقة، لكن هذا لا يخبرنا سوى بنصف الحكاية. كلما ارتفع الجهد الكهربائي، زاد معدل الطاقة التي يمكن لكل إليكترون التخلي عنه، لكن هذا لا يطلعنا البتة على عدد الإليكترونات العابرة. إن أسرع طريقة لضخ الطاقة أكثر إلى الماء تتجلى بالحرص على تدفق إليكترونات كثيرة في الدائرة الكهربائية. هذا هو التيار الكهربائي، ونقيسه بوحدات نسميها «أمبير». وكلما ارتفع التيار، زادت الإليكترونات التي تتجاوز نقطة من السلك في الثانية الواحدة. وعندما نقوم بعملية

حسابية بضرب الجهد الكهربائي [الفولطية] بقيمة التيار المتدفق عبر الدائرة الكهربائية (بالأمبيرات)، سنحصل على ناتج يساوي كمية الطاقة المتولدة في الثانية الواحدة. تأخذ غلايتي الكهرباء من مصدر جهده ٢٣٠ فولطًا ويمكنها استقطاب تيار قيمته ١٣ أمبيرًا، و٢٣٠ × ١٣٣٠٠٠ (تقريبًا). يتوافق مع ما كتب على الغلاية، إذ تقول إن قدرة الغلاية ٣٠٠٠ واط، وهو ما يساوي ٣٠٠٠ جول من الطاقة في كل ثانية. وهذا يكفي لتسخين الماء الذي صببته في الغلاية ليغلي خلال أقل من دقيقتين، لكنه سيفقد قليلًا من حرارته في محيطه، وبالتالي يستغرق التسخين عمليًا نحو ثلاث دقائق.

لا أنوي وضع ذلك تحت التجربة وأنا أنتظر الشاي، لكنهم يقولون عادةً: «الفولط يصدم والتيار يقتل». أرجّح أن الفرق في الجهد الكهربائي بيني وبين سيارتي في ذلك اليوم الثلجي في رود آيلاند يبلغ ٢٠,٠٠٠ فولط، لكن لم يتحرك سوى مقدار ضئيل من الشحنات الكهربائية، وبالتالي لم يُسبب ذلك لي أيّ ضرر يُذكر، فقد كان التيار صغيرًا، ولم تنتقل من جرائه سوى طاقة قليلة، ولو أنني وضعت أصابعي بين شمعات القابس، ليحل جسمي محل الغلاية، لاختلفت المسألة تمامًا. إن التيار العالي يعني وجود إليكترونات كثيرة، يحمل كلٌّ منها كميات الطاقة نفسها. والكمية الإجمالية للطاقة كبيرة نظرًا لتدفق كثير من الإليكترونات بسرعة شديدة، وسيكون ذلك أخطر بكثير من مجرد صعقة خفيفة من السيارة، حتى وإن كان فارق الجهد الكهربائي الذي يمر عبر أصابع قابس الغلاية لا يعادل سوى واحد بالمئة من الجهد الكهربائي بيني وبين سيارتي. إذن: إن القادر على إيقاع ضرر محتمل هو التيار.

مع انتقال الإليكترونات وتحركها عبر معدن العنصر الساخن، فإن الحقل الكهربائي يعمل على دفعها، مما يجعلها تزيد من سرعتها قليلًا، لكن الموصّل مصنوع من ذرات كثيرة، فتصطدم هذه الإليكترونات المتسارعة بالأجسام التي تواجهها في طريقها لا محالة، وعندما تصطدم تفقد الطاقة وتسخّن أي شيء تصطدم به، وبالتالي فإن إجبار كثير من الشحنات على الحركة يعني أنه ثمة كثير من الاصطدام وكثير من التسخين. هذا هو كل ما تفعله الغلاية؛ تسريع الإليكترونات لتصطدم بالأجسام التي تواجهها وتنقل إليها طاقتها على شكل حرارة. والحقيقة أن هذه الإليكترونات لا تنتقل بتحركاتها بعيدًا على الإطلاق، فقد تتحرك بجوارها ١ مليمتر في الثانية، لكنه معدل كافٍ.

ينطوي غلي الماء على كميات كبيرة من الطاقة الزائدة، ومن المدهش وصولها إلى هناك من محض حركة إليكترونات ضئيلة واصطدامها بالأجسام. إنه أمر مدهش لكنه غير قابل للإنكار، لاسيما إذا نظرنا إلى تجهيز الشاي الذي سخّنته الحقول الكهربائية التي تدفع الإليكترونات في موصّل كهربائي. إنها أبسط طريقة للاستفادة من الطاقة الكهربائية؛ تحويلها مباشرة إلى حرارة. لكن ما إن يصل الناس إلى وسيلة لبناء دوائر كهربائية ومزودات طاقة وبطاريات، حتى تبدأ الأمور بمزيد من التطور والتعقيد بسرعة كبيرة.

ثمة فارق جوهري بين رقصة الإليكترونات التي تولّدها البطاريات (أية بطاريات)، وبين ما يحدث عند توصيل قابس أي جهاز بمصدر الكهرباء. تتدفق الإليكترونات في أي جهاز تزوده بطارية بالطاقة دائمًا ناحية اتجاه واحد فقط. يسمى هذا «التيار المباشر»، أو يرمز له اختصارًا DC. وتزود البطارية العادية نوع AA 1,5 فولط تقريبًا بتيار مباشر. لكن التيار الموصّل الأساسي يختلف، فهو تيار متناوب، أو ما يرمز له اختصارًا AC. ويعني أنه يتناوب بالاتجاه مئة مرة في الثانية ، وقد تبيّن أن هذا النوع أكثر فاعلية إذا شغلنا مزود طاقة الكهرباء بوساطته.

بوسعنا التحول بين التيار المباشر DC والتيار المتناوب AC، لكن ذلك يشكل إزعاجًا. أي شخص يحمل جهاز حاسوب محمول يعرف هذا النوع من الإزعاج، إنها تلك القطعة الثقيلة التي تقع في وسط سلك توصيل الكهرباء للحاسوب المحمول. يُطلق عليها محوّل التيارين المباشر والمتناوب **AC/DC adaptor**، ووظيفته تحويل التيار المتناوب من منفذ الكهرباء الأساسي إلى التيار المباشر الذي يتطلبه الحاسوب (وهو النوع الذي تزوده بطارية الحاسوب مباشرةً). وهو ما يحتاج إلى لفائف من الأسلاك، وجزءًا من مجموعة دوائر كهربائية، وما زال تصغير كل تلك القطع الضرورية، أو تقليلها، عملية متعذرة حاليًا. إذن في الوقت الراهن نحن مضطرون إلى حمل المحوّلات معنا أينما ذهبنا.

نرى وجود الأجهزة الإليكترونية في زمننا الحالي أمرًا بدهيًّا ومفروغًا منه، لكن مثل هذه الأجهزة في الزمن السابق كانت أشبه بالوحش غير المؤكّد والذي يصعب التنبؤ به. دخل جدّي إلى هذا المجال منذ اللحظات الأولى التي غزت فيها منازلنا تلك الأجهزة المتطورة والجديدة.

كان جدي «جاك» أحد أوائل المهندسين التلفزيونيين، وتتذكر جدتي تلك الأيام بوضوح فتشدد على أن الأجهزة الإليكترونية اتسمت في زمنه بالصخب العالي والحرارة، كما أنه كان ينبعث منها روائح كريهة. ذكرني وصفُها لذلك النوع من الأعطال التي اعتاد إصلاحها بذلك الظهور للأجهزة القديمة التي يسهل نسيانها في أيامنا هذه، حيث تنتشر الهواتف الذكية و(الواي فاي) الجاهز والمتاح، وفاجأتني كذلك بمعرفتها لكل تلك المكونات التي تحويها الأجهزة، والعمليات المقترنة بها. لم أسمعها قط تتحدث عن أي شيء تقني في حياتي، إلا أنه عندما يأتي ذكر تلك الأجهزة التلفازية القديمة تشعر بالراحة بذكر مصطلحات كهربائية متخصصة لم تمرّ عليّ إطلاقًا. قالت لي في يوم من الأيام: «حسنًا، أحد المكونات المهمة محولٌ لمخارج الجهاز الذي بتوصيله بالتلفاز يُحدث أحيانًا صوت فرقعة، لكن ينبعث منه كذلك رائحة وإحساس بالاحتراق». ذكرتني لهجتها البريطانية الشمالية التي نطقت بها تلك الكلمات بأن هذا يكاد يكون تبسيطًا شعبيًا للأمور. ظلت الإليكترونات دائمًا غير مرئية، لكن منذ الأربعينات وحتى السبعينات من القرن العشرين يستطيع المرء بكل تأكيد أن يعرف أنها مُقدِمة على شيء ما. خطر حدوث صوت انفجار، أو فرقعة، أو هسيس، ماثلٌ دائمًا، وهو ما يعبر عن الظهور المفاجئ لقطعة قاتمة محترقة أو وميض ضوئي يشعرنا أن طاقة كثيرة قد انتقلت إلى مكان يفترض ألا تذهب إليه. وجد جاك نفسه في خضم بداية دخول عصر التلفاز، وهو أحد أفراد الجيل الوحيد الذي لمس عن قرب حقيقة عالم الكهرباء. ومع اقتراب نهاية مهنته كان كلٌّ من رقائق «الكمبيوتر» و«الترانزستور» قد تكفلا بإخفاء ذلك كلّه عن العيون، حيث أخفى الجانب الخارجي الصغير لهذه المكونات جانبًا داخليًا معقدًا، وهو ما لا ندركه من الخارج، لكن قبل أن تظهر، كانت هناك بضعة عقود من الزمن أمكن للناس فيها أن يشاهدوا ذلك السحر بأم أعينهم.

استهل جاك في سنة ١٩٣٥ وهو بعمر السادسة عشرة تدريبًا تجاريًا مع شركة ميتروبوليتان فيكرز، الشهيرة محليًا باسم «ميتروفيك»، وكان مقر تلك الشركة العملاقة المتخصصة بعالم هندسة الإليكترونيات في ترافورد بارك قرب مدينة مانشيستر، حيث تعمل وتنشط بتشغيل المولدات الراقية والمحركات التوربينية للبخار وأجهزة إليكترونية أخرى ضخمة. وعندما أنهى تدريبه في الهندسة الكهربائية في عامه الواحد والعشرين، فرزوه ليتبوأ وظيفة محجوزة تمنع من

ذهابه للتجنيد العسكري، وكان لوظيفته فائدة جمّة، فأمضى خمسة أعوام يجري الاختبارات على إليكترونيات مدافع الطائرات في شركة ميتروفيك. أول اختبار لهذه الأنظمة أطلق عليه «الوامض»، فكان يضع فيه ٢٠٠٠ فولط، فإذا لم يحدث صوت فرقعة فإنه ينجح. كانت هذه تمثل بداية النهاية لترويض الإليكترون، والمراحل الأولى للاعتراك معه إلى أن يخضع.

بعد انقضاء أوزار الحرب العالمية الثانية، كانت مجموعة شركات الصناعات الإليكترونية والموسيقية EMI تبحث عن موظفين يتمتعون بخبرة بالإليكترونيات، لأن أجهزة التلفاز الأولى كانت أشبه بالوحش الخجول والمعقد وبحاجة لخبير قادر على تجهيزها وضبطها دوريًا على مدار عمرها التشغيلي، فبعثت المجموعة جاك إلى لندن للتدرب كمهندس تلفازي. أما أدوات هذه التجارة فتلخصت بالصمامات والمقاومات الكهربائية والأسلاك والمغناطيسات، وهي المكوّنات القادرة على إقناع الإليكترونات بتنفيذ ما نريده. وأمكن صنع هذا الخليط المرئي الجميل من الزجاج والخزف والمعدن لإنجاز شيء يبدو بسيطًا للغاية، ويقع في صميم فكرة كل جهاز تلفاز حتى عقد التسعينات، إذ إنه قادر على صنع شعاع من الإليكترونات وثنيها، فإذا فعلنا ذلك سيكون بوسعنا صنع صور متحركة.

أَحاط جاك علمًا بأجهزة تلفاز «CRT». وأنا أحبُ هذا الاسم لأنه يربطنا بزمن ما قبل اكتشاف الإليكترونات. يشير هذا الرمز المختصر إلى اسم « أنبوب الأشعة المهبطية» ، وقد اتسمت الأشعة المهبطية بغرابة واضحة عند اكتشافها، فلنتخيّل الفيزيائي الألماني القديم يوهان هيتورف ينظر سنة ١٨٦٧ إلى آخر مخترعاته، إذ يوجد في مختبره القاتم أنبوبة زجاجية في داخلهما قطعتان معدنيتان معلقتان في الفضاء عند كل طرف، وقد أفرغ الهواء من داخل الأنبوب. قد يبدو هذا منظرًا عاديًا ورتيبًا، لكن تخيلوا مدى الغرابة الأكيدة باكتشاف أننا إذا أوصلنا بطارية كبيرة بالقطعتين المعدنيتين ستتدفق مادة غير مرئية غامضة من إحدى طرفي الأنبوب إلى طرفه الآخر. استطاع معرفة وجودها هناك لأنها جعلت الطرف الآخر من الأنبوب يومض، كما أنه استطاع كذلك أن يصنع ظلًا من خلال وضع أشياء في الطريق، ولم يعلم أحد بماهية الشيء الذي يتدفق، إلا أنهم احتاجوا لتسميته، فأصبح يُعرف بالأشعة المهبطية أو الكاثودية؛ والكاثود هو الطرف المعدني المتصل بالطرف السالب من البطارية، وهذا مصدر الشيء الغريب.

كان قد مضى على ذلك ثلاثون عامًا قبل اكتشاف جوزيف تومسون أن الذي يتدفق ليس أشعة بتاتًا، بل هو تيار من الجسيمات ذات الشحنة السالبة، تلك الجسيمات التي نسميها الآن إليكترونات. غير أنه بحلول ذلك الزمن، فإن الوقت قد فات على تعديل تلك التسمية للجهاز الذي ما زال يُطلق عليه أنبوب الأشعة المهبطية حتى يومنا هذا. ونعلم حاليًا أن وضع جهد كهربائي (فولطي) عبر الجهاز أو تطبيقه؛ يولّد حقلًا كهربائيًا يمتد من طرف إلى الطرف الآخر، وبذلك ستقفز الإليكترونات من الطرف السالب لتنطلق بسرعة نحو الطرف الموجب. أي جسيم يحمل شحنة كهربائية سيسرّعه الحقل الكهربائي، مما يعني أنه سيُدفع للأمام باستمرار. إذن فالإليكترونات لا تتحرك نحو الطرف الموجب لانجذابها له فحسب، بل تزداد سرعتها كذلك وهي تمضي بطريقها، وكلما ارتفع فارق الجهد الكهربائي بين الطرفين، ازدادت سرعة حركتها عندما تصل إلى الجانب الآخر. وفي حالة تلفزيونات أنبوب الأشعة المهبطية، فبمقدورهما الانطلاق بسرعة وإحراز عدة كيلومترات في الثانية بوقت وصولهما إلى الشاشة. وهذا جزء كبير من سرعة الضوء التي تُعدّ أكبر سرعة انتقال في الكون.

وهكذا فإن العملية الأساسية ذاتها التي قادت لاكتشاف الإليكترون في المقام الأول جرى استخدامها داخل كل تلفاز في العالم إلى ما قبل عقدين من الزمان، ويحتوي كل تلفاز في خلفه على جهاز ينتج إليكترونات، أما وسط التلفاز فهو مساحة فارغة تمامًا – فراغٌ خالٍ من الهواء بداخله – وذلك حتى لا تكون هناك أية عراقيل على الإطلاق، فتنبعث الإليكترونات المنطلقة من «مدفع الإليكترونات» عبر تلك المساحة الفارغة إلى أن تصيب هدفها؛ ألا وهو الشاشة. إنه أنقى أشكال التيار الإليكتروني، فهو عبارة عن أجسام مشحونة تتحرك بخط مستقيم.

***

تفتح خالتي صندوقًا مليئًا بالأغراض والقطع التي احتفظت بها من ورشة جاك عندما رحل عن دنيانا، فثمة أنابيب زجاجية تظهر كأنها مصابيح أسطوانية، في داخلها معدن غريب يبدو من داخله بشكل حشرة. إنها الصمامات التي استخدمها للتحكم بتدفق الإليكترونات في الدوائر الكهربائية، ويبدو أن مهمة جاك في بداية عمله تضمنت الوقوف على تعطل أي من هذه الأغراض عن العمل واستبدالها. وقد حملتْ أمي وكذلك خالتي وجدتي كثيرًا من العاطفة نحو هذه الأغراض، وذلك

لتوفر كثير منها في ذلك الزمن بأنواع وأصناف شتى، أما في ركن الصندوق فيوجد مغناطيس دائري كبير مكسور ومنقسم إلى قطعتين.

هذا هو الارتباط العظيم، ويجسد اللحظة التي أدركه فيها الفيزيائيون في نهايات القرن الثامن عشر. إذا أردنا التحكم بالكهرباء فسنحتاج للمغناطيس، وإذا أردنا التحكم بالمغناطيس فسنحتاج للكهرباء. إن الكهربائية والمغناطيسية تشكلان جزءًا لا يتجزأ من الظاهرة نفسها. والحقلان الكهربائي والمغناطيسي قادران على دفع الإليكترون، لكن نتيجة كل دفعة تختلف عن الأخرى، فالحقل الكهربائي سيدفع الإليكترون باتجاه الحقل، في حين أن الحقل المغناطيسي سيدفع الإليكترون المتحرك باتجاه جانبي.

إن تكوين شعاع من الإليكترونات أمر سليم وجيد، لكن المهارة الحقيقية بأجهزة التلفاز القديمة تكمن بالتحكم بالنقطة التي يتركز عليها ذلك الشعاع، ويقع الارتباط العميق بين الكهربائية والمغناطيسية في قلب ذلك. فمع تحرك الإليكترون السريع عبر الحقل المغناطيسي فإنه يتلقى دفعًا لاتجاه واحد، وكلما ازدادت قوة الحقل المغناطيسي ازداد تلقيه للدفع. ولذلك، من خلال تغيير الحقول المغناطيسية داخل التلفاز القديم، يمكن دفع شعاع الإليكترون وسحبه إلى مكان النقطة المطلوبة. أما المغناطيس الكبير والدائم الذي عرضته عليّ خالتي فكان يستخدم على مقربة من مدفع الإليكترون ليقوم بمهمة التوجيه الأساسية، لكن توجيه المغناطيسات الإليكترونية، التي تتمركز قريبًا من الشاشة، كانت الإشارة الصادرة من الهوائي تتحكم به، فتدفع شعاع الإليكترون ليتم مسحه أفقيًا على الشاشة، بمعدل خط واحد تلو الآخر. والشعاع نفسه يُفتح ويُغلق خلال كل خط، وحيث يلمس الشاشة تنشأ بقعة بيضاء. و«محوّل مخرج الخط» الذي ذكرته جدتي هو جزء من قطعة تتحكم بالمسح الضوئي. ولضمان عمل صورة ناعمة فإن ٤٠٥ خطوط تُمسح ٥٠ مرة في كل ثانية، بشعاع إليكترون يتحرك فتحًا وغلقًا في الوقت نفسه لكل نقطة من نقاط الشاشة (بيكسل).

إنها رقصة ذرات معقدة بما لا يصدقه عقل، وتتطلب مشاهدة أية صورة كنتيجة لذلك مكونات دقيقة وتفصيلية تقوم كلها بعمل الشيء المناسب في الوقت المناسب، فالتلفزيونات القديمة تمتلئ بالأزرار والمقابض الكثيرة لعمليات الضبط، ويبدو أن كثيرًا من أصحاب التلفزيونات لم يقاوموا إغراء العبث بها. وقد تمتع جاك بمهارة معرفة كيفية ضبط تلك الأجهزة. لا بد أن ذلك بمنزلة السحر في ذلك الوقت. وقد

حظي الحرفيون المهرة لقرون عدة باحترام كبير لِما كان بمقدورهم فعله وإنتاجه، فقد ثَمّن كل شخص ما يقومون به وشعر بأهميته، وإن لم يتمكنوا من فعله بأنفسهم. أما وقد تغيّر العالم الآن، فإن المهندسين الإليكترونيين أصبحوا قادرين على جعل أي جهاز يعمل، لكن أمسى من المتعذر مشاهدة ما ينفذونه على وجه الدقة، أو لماذا عمل هذا الجهاز.

يظهر وجه الغرابة في أن إليكترونات صامتة، وغير مرئية، ومحجوزة في فراغ؛ أضحت العامل الأكبر بتفعيل إنجاز هائل بعملية البث المرئي بكل ما يشمله من صوت وصورة. وظلت التلفزيونات لمدة خمسين عامًا ترتكز فكرتها على المبدأ البسيط ذاته؛ ضع إليكترونًا في حقل كهربائي، وستجعله بذلك يزيد من سرعته أو يقللها. وضع ذلك الإليكترون المتحرك في حقل مغناطيسي، وانظر كيف سينثني مساره. أما إذا تركته وحده مدة طويلة وكافية فسينطلق بحركة دائرية.

تسري مبادئ التجارب الفيزيائية الكبيرة في مختبر «سيرن» في مدينة جنيف السويسرية، الذي اشتهر باكتشاف «بوزون هيغز» سنة ٢٠١٢ ، الذي يعمل على المبادئ ذاتها التي يعمل وفقًا لها أنبوبُ الشعاع المهبطي المذكور آنفًا، مع أن الجسيمات التي يستطيع المختبر تعجيلها لا تقتصر على الإليكترونات فقط، فإن أي جسيم مشحون قابل للتسريع عبر حقل كهربائي، ويمكن ثني مساره بوساطة حقل مغناطيسي. يوجد في مصادم الهدرونات الكبير ، الذي أجريت عليه التجربة التي أثبتت بما لا يَدَعُ مجالًا للشك وجود «بوزون هيغز»، عدة بروتونات تتحرك بسرعة بين أرجائه، حيث إن السرعات فيه تقترب من سرعة الضوء المذهلة، إلى درجة أنه حتى بوجود المغناطيس ذي القوة الفائقة لتوجيه انطلاق الجسيمات، يتحتم أن يكون محيط دائرته ٢٧ كيلومترًا .

إذن فالتصميم الأساسي المستعمل لاكتشاف الإليكترون ذاته، وكذلك لتشغيل مصادم الهدرونات الكبير في مختبر «سيرن»، الذي يتحكم في تيار للجسيمات المشحونة في فراغ، ظل موجودًا في كل ركن من أركان المنازل إلى وقت قريب جدًا. إلا أن أجهزة تلفاز أنبوب الأشعة المهبطية كبيرة الحجم استُبدلت بالكامل تقريبًا لتحل محلها الشاشات المسطحة، وقد تجاوزت عالميًا في سنة ٢٠٠٨ مبيعات شاشات العرض المسطحة نظيرتها من شاشات أنبوب الأشعة المهبطية التي طوتها صفحات التاريخ. كما أن هذا التحول أدى كذلك إلى أن تصبح الحواسيب المحمولة والهواتف الذكية متاحة لجعلها صغيرة ومحمولة باليد. تتحكم

الإليكترونات كذلك بشاشات العرض الجديدة، لكن ذلك يجري بأسلوب أكثر تعقيدًا، فكل شاشة من هذه الشاشات تنقسم إلى مربعات عدة، وصغيرة للغاية، تسمى «بيكسل»، ويحدد تحكم الإليكترون بكل بيكسل إمكانية نشر الضوء من عدمه ، فلو توفر لدينا شاشة بدقة ١٢٨٠ × ٨٠٠ بيكسل، فهذا يعني أننا ننظر إلى شبكة مربعات مكونة من أكثر من مليون نقطة من الضوء، تقوم كل واحدة منها منفصلة بالفتح والإغلاق عبر فولطيات ضئيلة، وتُحدّث كلٌ منها ستين مرة على الأقل كل ثانية، إنها عملية تنسيق فذة، لكنها برغم ذلك لا تُذكر إذا ما قورنت بما يفعله الحاسوب المحمول.

فلنعد إلى المغناطيس، يمكن للحقل المغناطيسي أن يدفع الإليكترونات من حوله، وبذلك يمكنه التحكم بالتيارات الكهربائية، لكن ذلك ليس هو الحد الذي يربط بين الكهربائية والمغناطيسية، فالتيارات الكهربائية قادرة كذلك على تكوين حقولها المغناطيسية.

***

كما رأينا في الفصل الخامس، تسخّن المحمصة الكهربائية الخبز بفاعلية عالية باستخدام الأشعة تحت الحمراء، لكن لا تكمن براعة المحمصة الكهربائية الحقيقية في أنها توفر قدرًا كبيرًا من التسخين، فالشوّاية يمكنها تنفيذ ذلك؛ بل يكمن بمعرفتها متى تتوقف. القاعدة العامة في أجهزة المحمصات الكهربائية هي أن الخبزة لا تختفي وهي تنزل داخل المحمصة إلا عند ضغط ذراع جانبية، فإذا لم نضغط عليه لينزل إلى أدنى مستوى له تعود الخبزة لتظهر في الأعلى، لكن إذا ضغطنا على ذلك الذراع حتى الأسفل فسنسمع صوت نقرة وتظل الخبزة ثابتة حتى يحين وقت خروج الخبزة المحمصة الساخنة من فرنها الصغير، ولستُ بحاجة لأن أقف عليها وأتفقد مدى جودة سَمَار الخبزة، وعند تحول الخبزة إلى الشكل المحمص سنسمع صوت نقرة ميكانيكية أخرى وستخرج الخبزة المحمصة من تلقاء نفسها. وهكذا، في أثناء سيري في المطبخ لجلب الزبدة والمربى، ثمة شيء يثبّت الخبزة في مكانها.

ثمة بساطة رائعة فيما تفعله المحمصة الكهربائية، فعندما نضع الخبزة في مكانها ستستقر على سطح مُزوّدٍ بحسّاسٍ حراريّ (سطح التحميل) ونابض (زِنْبَرك) في الأسفل، وهو الذي يدفع الخبزة للأعلى لموقعها الظاهر، وفوق عناصر التسخين. لكن لدينا من القوة ما يكفي للضغط على الخبزة نحو الأسفل بغض النظر عن ذلك

الحسّاس (الزنبرك). وحين يصل سطح التحميل إلى قاعدة المحمصة، حيث تملأ قطعة معدنية الفراغ في دائرتين كهربائيتين لا واحدة، تتولى إحدى هاتين الدائرتين عملية التسخين، مما يجعل الكهرباء تتدفق في تلك اللحظة حول المحمصة الكهربائية لتسخين الخبزة.

لكن الدائرة الكهربائية الأخرى هي التي تهمنا في هذا المقام، فالإليكترونات في هذه الدائرة تتحرك وتدور على طول مقطع سلكي وحوله، حيث يُغلّف هذا المقطع بقطعة حديدية. إنها شيء شبيه ببرجٍ حلزوني كذاك الذي نجده في الملاهي، لكنه خاص للإليكترونات، فهي تتحرك بحركة حلزونية فتدور وتدور حول الحديدة ثم على طول بقية الدائرة الكهربائية وخارجها إلى أن تعود إلى منفذ القابس، وهذا كل شيء. لكن بسبب التشابك الشديد بين الطاقتين المغناطيسية والكهربائية، فهي تكوّن، عندما يجري تيار كهربائي عبر السلك، حقلًا مغناطيسيًا حول ذلك السلك. ويعني إرسال إليكترونات حول لفيف من الأسلاك أنه في كل مرة تكوّن الإليكترونات حلقة دائرية فإنها تضيف إلى الحقل المغناطيسي نفسه، وتعزز القطعة الحديدية في وسط الملف الحقل المغناطيسي، بل تزيده قوة. هذا هو المغناطيس الكهربائي (الكهرطيس) .

عندما يجري تيار كهربائي في السلك فسيصبح مغناطيسًا، وعندما يتوقف التيار يتلاشى الحقل المغناطيسي. وهكذا عندما نضغط على ذراع المحمصة فإننا نعمل على تشغيل حقل مغناطيسي عند قاعدة المحمصة لم يكن موجودًا من قبل، وبما أن أسفل سطح تحميل الخبزة مصنوع من الحديد فهو يلتصق بالمغناطيس. بعبارة أخرى: بينما أفتش في الثلاجة، يمسك حقل مغناطيسي مؤقت بسطح تحميل الخبزة بإحكام ويثبته بمكانه، والمحمصة مجهزة بمؤقت زمني على جانبها، فيبدأ حساب التوقيت عندما ترتبط الدائرتان الكهربائيتان، وحين ينتهي الوقت، يقطع المؤقت الطاقة عن المحمصة كلها، فيتوقف المغناطيس الكهربائي عن كونه مغناطيسًا لانقطاع الطاقة عنه، مما لا يجعل أي شيء يمسك بالخبزة فيدفعها الزنبرك لتخرج للأعلى.

أنسى أحيانًا أنني نزعت قابس المحمصة الكهربائية، لكنني أكتشف ذلك بسرعة. إذا حاولنا الضغط على الذراع للأسفل، فسيعود للأعلى مباشرةً حتى لو ضغطت عليه إلى أدنى نقطة، وذلك لعدم وجود طاقة في المغناطيس الكهربائي، مما يجعله غير قادر على الإمساك بسطح تحميل الخبزة. إنه نظام بسيط للغاية كما يتميز

بالأناقة المدهشة. في كل مرة نصنع فيها خبزة محمصة فإننا نستفيد من هذه الرابطة الجوهرية بين الطاقتين المغناطيسية والكهربائية.

تنتشر من حولنا المغناطيسات الكهربائية لفائدتها الجمّة، ولتمكيننا من تشغيل المغناطيسات وإغلاقها. إنها موجودة في أجهزة مكبرات الصوت وأقفال الأبواب الإليكترونية ومحركات أقراص الحاسوب، ولا بد أن تُمد بالطاقة باستمرار، وإلا فسيتلاشى الحقل المغناطيسي. أما نوع المغناطيس المُركّب على أبواب ثلاجاتنا فيُطلق عليه المغناطيس الدائم، الذي لا نستطيع التحكم بتشغيله أو إغلاقه، أو تغيير مغناطيسيته، لكنه يمتاز بعدم حاجته إلى أية طاقة كهربائية. وتقوم المغناطيسات الكهربائية عند تشغيلها بالدور ذاته الذي يؤديه مغناطيس الثلاجة، لكن الملائم فيها إمكانية إغلاقها من خلال إيقاف التيار فحسب.

إننا محاطون بحقول مغناطيسية موضعية صغيرة، بعضها دائم وبعضها الآخر مؤقت. وقد صنع معظمها البشر؛ إما لكي تعمل عملًا نافعًا أو كناتج من شيء يقوم بعمل نافع. لا تصل الحقول المغناطيسية لمسافات بعيدة، ولذلك فهي غير قابلة للكشف سوى بمسافة قريبة من المغناطيس، لكن هذه ليست إلا مغناطيسات صغيرة في حقل مغناطيسي أكبر بكثير، ويمتد حول كوكبنا الأرض، وهذا طبيعي جدًا، ومع أننا لا نشعر به، لكننا نستخدمه طوال الوقت.

***

يسهل النظر إلى البوصلة على أنها شيء متوفر بكثرة، لا سيما إذا كنت أيها القارئ الكريم ممن يمارسون رياضة المشي بكثرة، حيث من السهل حمل بوصلة فيها إبرة تشير إلى الشمال دائمًا. لكن تخيّل معي أنك تأتي بعشر بوصلات، بل قل عشرين أو مئتي بوصلة لتوزعها على الأرض، وكلها تؤشر ناحية الشمال، فستلاحظ فجأةً أن هذا الأمر لا يحصل فقط عند جلبك لبوصلة، إنها ظاهرة موجودة طول الزمن وتتسم بالثبات. يمكنك أخذ مجموعتك من البوصلات لأي مكان في المعمورة وتوزعها لتجد أن كل بوصلة تشير ناحية الشمال وكلها تتفق على ذلك، فالحقل أو المجال المغناطيسي للأرض موجود منذ الأزل، إذ يتدفق ما بين المدن والصحاري والغابات وسلاسل الجبال. إننا نعيش داخله، ومع أننا لا نشعر فيه، إلا أن البوصلة تذكرنا دائمًا أنه موجود.

إن البوصلة أداة قياس تتصف بالبراعة والبساطة، فإبرتها مغناطيس، ويسلك أحد طرفيها سلوكًا مختلفًا عن الطرف الآخر، ويطلق على هذين الطرفين للمغناطيس

القطب الشمالي والقطب الجنوبي، وهي تسمية غير واقعية، لكنها مجرد طريقة لوصف سلوك أحد الطرفين كقطب شمالي مغناطيسي للأرض، في حين يسلك الطرف الآخر سلوك القطب الجنوبي المغناطيسي للأرض. إذا أخذنا مغناطيسين وقربناهما من بعضهما فسنرى بسرعة صعوبة دفع القطبين الشماليين معًا، لكن القطب الشمالي يجذب القطب الجنوبي بقوة شديدة. يفسر هذا سهولة الكشف عن اتجاه أي حقل مغناطيسي؛ إذا وضعنا مغناطيسًا متنقلًا صغيرًا داخل حقل مغناطيسي سيظل يدور إلى أن يصبح طرفاه الشمالي والجنوبي بموازاة الحقل، وهذا كل ما تعمله البوصلة؛ مغناطيس متنقل يكشف اتجاه أي حقل مغناطيسي نضعه فيه. لا نستطيع رؤية المجال المغناطيسي الشاسع للأرض، لكن بوسعنا رؤية إبرة البوصلة وهي تستجيب له، ولا تكتفي البوصلة باستشعار المجال المغناطيسي للأرض فقط، فإذا أخذ أحدكم بوصلة وجَالَ في بيته، سيكشف بنفسه عن الحقول المغناطيسية التي تحيط بمنافذ القوابس الكهربائية والأواني الفولاذية والأجهزة الإليكترونية ومغناطيس الثلاجات، وسيكشف عن أي حديد كان على مقربة من مغناطيس مؤخرًا.

يبرز بوضوح أن معظم استخدام البوصلات يتركز في الملاحة، فالعثور على طريق معيّن على سطح كرة دائمًا ما تكتنفه المشقة، لكن المجال المغناطيسي للأرض زود لقرون متعاقبة الرحّالة والمستكشفين بأداة رائعة ويُعتمد عليها. إذ تمتلك الأرض قطبًا شماليًا مغناطيسيًا وقطبًا جنوبيًا مغناطيسيًا، وبوسع أي شخص بحوزته بوصلة أن يوجّه نفسه ناحية أي منهما. والمغناطيسية كأداة ملاحية تتصف بأنها مباشرة ورخيصة ومتوفرة. بيد أن هذه الأداة تنطوي على بعض الخفايا المرتبطة بها، وأولها أنه من الخفايا الخطيرة وغير المتوقعة أن القطبين المغناطيسيين غير ثابتين في مكان واحد، فهما يجولان وبإمكانهما الانتقال لمسافات بعيدة.

يوجد القطب الشمالي المغناطيسي وقت كتابتي هذه السطور في الشمال الأقصى لكندا، أي على بعد ٢٧٠ ميلًا من «الشمال الحقيقي»، ألا وهو القطب الشمالي الواقعي الذي يحدده محور دوران الأرض. ومنذ هذا الوقت من العام الماضي تحرك القطب الشمالي المغناطيسي ٢٦ ميلًا، وهو متجه في طريقه عبر المحيط القطبي نحو روسيا. تبدو هذه الظاهرة عاملًا غير مساعد للملّاحين، مع أن ضخامة العالم واتساعه لا يجعلان منها مشكلة بالغة السوء كما تبدو عليه، غير أن تحرك

المجال المغناطيسي يأتي نتيجةً لحالة مصدره، وهذا تذكير لنا جميعًا أن محتوى كوكبنا الداخلي ليس محض كرة صخرية ثابتة.

يتأجج تحت أقدامنا ببطء ما تحتويه الطبقة الخارجية لنواة الأرض الغنية بالحديد، كما أنها تنقل الحرارة من مركز الأرض إلى سطحها، ويجبر دوران كوكب الأرض الصخور المنصهرة على الدوران أيضًا، وتأخذ النواة الخارجية البطيئة سمات الموصّل الكهربائي الجيد نظرًا لوجود الحديد فيها، مما يعني أنها تسلك سلوك المغناطيس الكهربائي الذي رأيناه في المحمصة الكهربائية. ويُعتقد أن التيارات التي تجري في نواة الأرض الخارجية مسؤولة في أثناء دورانها عن توليد مجال كوكبنا المغناطيسي. وتعتمد العملية على التحرك البطيء للصخور المنصهرة؛ إذ ينعرج القطبان نظرًا إلى تفاصيل تغيّر حركة هذه الصخرة بمرور الوقت. ويحافظان تقريبًا على محاذاة محور دوران الأرض لأن دوران الصخرة الغنية بالحديد يحدثه دوران الكوكب بأسره، لكن تلك المحاذاة تقريبية.

إذا كنتم مهتمون فعلًا بدقة الملاحة، فيتعين عليكم تصحيح الموقع الراهن للقطب المغناطيسي، لأنه يختلف عن القطب الشمالي الفعلي. تُظهر الخرائط الحالية اتجاه القطبين، وقد ألقيت نظرة على خريطة وكالة مصلحة الخرائط لجزء من الساحل الجنوبي للمملكة المتحدة، حيث وُضعت علامة على كلٍ من الشمال المغناطيسي والدوراني [أي القطب الشمالي الفعلي] في أعلى الخريطة، وبمقدوري رؤية أنه إذا اتبع أحد بوصلة للاتجاه نحو الشمال المباشر لأربعين ميلًا فسينتهي به المطاف على مسافة ميل واحد غرب خط الشمال الفعلي، إذ تبدو الخريطة كتسجيل ثابت، بيد أن المجال المغناطيسي، الذي قد ينتفع منه المرء للاهتداء في ملاحته، هو في حقيقته متغيّر. و لهذا السبب فإن التقنيات الحديثة تساعدنا جميعًا كي لا نقع في التِّيه. وصناعة الطيران تُولِي ذلك اهتمامًا بالغًا بكل تأكيد، بكلّ ما لديها من أنظمة ملاحة حديثة ومتطورة باستمرار على يد العلماء والمختصين، وأُولى ملامح ذلك الاهتمام أنها تقوم بتعديل علامات مدارج طائراتها على الدوام.

في المرة القادمة التي تذهبون فيها إلى مطار أو تكونون بقربه، ألقوا نظرة على العلامات الكبيرة الواقعة عند بداية كل مدرج، إذ يوضع على كل مدرج من مطارات العالم علامات تحتوي على أعداد تشير إلى درجة اتجاهه عن الشمال مقسومًا على عشرة، فمطار غلاسكو بريستويك مثلًا يأخذ رقم ١٢؛ لأن الطائرة التي تحط عليه ستحلق فيما يطلق عليه «وجهة» ١٢٠ درجة. ويحتوي كل مدرج

على تخصيص محدد يقع ما بين العددين ٠١ و٣٦. لكن هذه الوجهة متعلقة بالشمال المغناطيسي، لأن هذا ما تقوله لنا البوصلة. إذن في عام ٢٠١٣ أصبح مدرج ١٢ في مطار غلاسكو مدرج ١٣، وذلك لمواكبة حركة القطب المغناطيسي. لم يتحرك المدرج لكن الذي تحرك هو المجال المغناطيسي للأرض. تضع هيئات الطيران نصب عينيها ذلك كله، وتعمل على تصحيح تخصيصات المدرج وتقسيماته كلما دعت الضرورة. وبما أن القطبين يتحركان ببطء نسبيًا، فإن تلك التغيرات مقدور عليها.

لكن انعراج القطبين هو البداية فقط، فالمجال المغناطيسي المتقلب للأرض يقدم لنا أشياء كثيرة غير المساعدة الملاحية، ومنحت الدلائل التي أوجدتها تأكيدًا نهائيًا على أكثر الأفكار عمقًا وبساطةً وإثارة للجدل أمام علماء الجيولوجيا؛ فالقارات، التي هي الكتل الصخرية الضخمة التي تهيمن على سطح الأرض، تتحرك.

***

في الخمسينات من القرن العشرين انطلقت الحضارة البشرية نحو حقبة علمية وتقنية جديدة، فقد وُضِعت الأسس التي تعتمد عليها مجتمعاتنا الحديثة، مواقد الموجات الكهرومغناطيسية (المايكرويف)، ولعبة التركيب (ليغو)، ولاصقات ماركة فيلكرو، والبكيني، كلها حلت علينا وأصبحت مستعملة على نطاق شعبي واسع، وتقبلّت البشرية قدوم العصر الذري، وأعيدت صياغة القواعد الاجتماعية عن بكرة أبيها، واخترعت البطاقات الائتمانية. وعلى الرغم من ذلك كله ووسط كل هذه الحداثة السريعة، لم نتمكن من إدراك حقيقة الكوكب الذي نعيش فيه أو نفهمه. لقد أبلى علماء الجيولوجيا بلاءً حسنًا بتصنيف صخور الأرض وفهرستها، لكنهم لم يستطيعوا تفسير الأرض نفسها. من أين جاءت كل هذه الجبال؟ ولماذا هذا البركان هنا؟ ولماذا بعض الصخور قديمة وبعضها الآخر جديد؟ ولماذا تختلف الصخور في كل مكان ننظر إليه؟

ظلت إحدى الملاحظات المهمة تستصرخ إجابة مقنعة فترة طويلة من الزمن، وفحواها أن الساحل الشرقي للقارة الأمريكية الجنوبية والساحل الغربي للقارة الأفريقية يبدوان وكأنهما قطعة واحدة انشقت إلى شطرين. فصخورهما متطابقة وشكلاهما متطابقان وأحافيرهما متطابقة، فبناء على أي ظرف يمكن أن يحدث ذلك مصادفة؟ غير أن معظم العلماء نظروا لهذا التساؤل بمحض فضول لم يُعيروه أيّ اهتمام؛ فلم يَدُرْ بخِلْد أي أحد أن أرضًا بهذه الضخامة قد تتحرك نحو أي مكان.

في بدايات القرن العشرين، أتمّ باحث ألماني يُدعى ألفريد فيغنر جمع كل البراهين وعرض فكرة «الانجراف القاري»، إذ أشار فيغنر إلى أن جنوب أمريكا وأفريقيا كانا في حقبة زمنية معينة أرضًا متصلة، وأن إحدى هذه الكتل الأرضية الضخمة قد انفصلت عن الأخرى وانجرفت على وجه الكرة الأرضية، لم يأخذ هذه الفكرة على محمل الجد سوى قلة قليلة من العلماء لأن مجرد التفكير بتزحزح أرض ذات مساحة هائلة مثل قارة أمريكا، لمسافة ٣٠٠٠ ميل غربًا، تبدو فكرة مثيرة للسخرية. فإن صح ذلك، فما الذي فعّل ذلك الدفع؟ أشار فيغنر نفسه إلى أن القارات حرثت طريقها عبر صخور المحيط، لكنه لم يقدم دليلًا على ذلك، فلم يكن هناك «كيف» أو «لماذا»، وسرعان ما رُكنت النظرية على الرف. لم يمتلك أحد آخر أفكارًا أفضل، وظل السؤال وحيدًا بلا إجابة.

مع حلول الخمسينات لم تظهر أية أفكار أفضل، لكن حدثت بعض القياسات الجديدة، فالحمم البركانية التي تلفظها البراكين تحتوي على مركبات غنية بالحديد، كما جرى اكتشاف أن قطعة من تلك المركبات يمكنها أن تتصرف كإبرة بوصلة من خلال استدارتها لتحاذي حقلًا مغناطيسيًا موضعيًا، أما الجزء المفيد من هذه العملية أن الحمم عندما تبرد وتصبح على شكل صخرة صلبة فإن المعادن الحديدية الصغيرة لا تقوى على الحركة، فتثبت في موقعها، فظهر أن هذه البوصلات المتجمدة الصغيرة تعني أن سجلًا من مجال الأرض المغناطيسي قد بُني في الصخر لحظة تشكّله، وعندما استخدم الجيولوجيون هذا السجل للنظر في التغيرات التي طرأت على الحقل المغناطيسي عبر الحقب الزمنية، طفا على السطح شيء يزيد من الفضول فضولًا. إذ بدا أن اتجاه المجال المغناطيسي للأرض ينعكس كل بضع مئات الآلاف من السنين، فهو ينقلب بالكامل فيصبح الجنوب شمالًا ويمسي الشمال جنوبًا. لم يبدُ هذا شيئًا بالغ الأهمية، لكنه بالغ الغرابة.

ثم وصل علماء الجيولوجيا إلى قاع البحر، فتمثلت إحدى الظواهر الكثيرة لتكوين الأرض التي لم تجد تفسيرًا في أن عددًا من المحيطات لها حافات أو أعراف من الجبال تحت الماء، وتقع على خطوط شاسعة عبر السهول المسطّحة لقاع المحيط، ولم يعرف أحد ما الذي كانت تفعله هناك، وأشهرها ما يطلق عليه «حافات وسط المحيط الأطلسي» ، وهي خط من البراكين يبدأ من فوق الماء (حيث يقع البلد الذي نسميه آيسلندا على طرف ناتئ من هذا العرف)، ثم تختفي تحت الماء، حيث تمضي متعرجة على طول مركز المحيط الأطلسي إلى أن تقترب من القارة القطبية

الجنوبية. ثم أظهرت القياسات المغناطيسية في سنة ١٩٦٠ أن الطاقة المغناطيسية للصخور المحيطة بتلك الحافات لها من الغرابة قدر كبير، فقد كانت أشبه بالمخطّطة، وجرت تلك الخطوط بموازاة الحافة، وكلما ابتعدنا عن الحافة الوسطى نلحظ أن صخور قاع البحر لها طاقة مغناطيسية تشير إلى الشمال ثم الجنوب ثم الشمال مرة أخرى، وتسير هذه الخطوط على امتداد السلسلة الجبلية، ومما يزيد الأمر غرابة أننا إذا نظرنا إلى الجانب المقابل من الحافة [أي عند القارة المقابلة] نرى الصورة متشابهة كالمرآة بالضبط.

نجح العالمان البريطانيان دروموند هويل ماثيوز وفريد فاين في سنة ١٩٦٢ بإيجاد الحلقة المفقودة . بمقدورنا أن ندرك، وإن كان إدراكًا متأخرًا، اكتمال صورة معظم القطع المتناثرة في علم الجيولوجيا، فقد طرح العالمان سؤالًا: ماذا لو أن البراكين في قيعان البحار تعمل على بناء قاع بحر جديد مع انفصال القارات؟ تصطف المغناطيسية في حافة القاع مع المجال المغناطيسي الحالي، لكن عندما تنفصل القارات وتُحمل الصخور من حافات القيعان إلى جانبي البراكين تتشكل صخرة جديدة. وعندما ينعكس المجال المغناطيسي للأرض، ستنعكس معه الطاقة المغناطيسية للحمم الجديدة كذلك، مشكّلةً بذلك خطًا جديدًا يشير إلى الاتجاه المعاكس. ويكمن السبب في تشابه صورة الخطوط المتقابلة للحافات، فتبدو كالمرآة المتطابقة، في أن كل خط يمثّل فترة محاذاة مغناطيسية واحدة، وذلك قبل أن ينقلب عائدًا إلى الطريق الآخر. وأظهرت اكتشافات أخرى قرب ذلك الوقت والمواقع التي تدمر فيها قاع البحر، وهو ما كان له أهمية كبيرة، لأن الكوكب نفسه بقي بالحجم ذاته. ومن الجانب الآخر من أمريكا الجنوبية تنشأ سلسلة جبال الأنديز، لأنه الموقع الذي دُفع فيه قاع البحر القديم من المحيط الهادئ نحو أسفل القارة حتى المعدن الأرضي. وحال أن ندرك أن القارات قادرة على الانتقال والحركة، والاصطدام والانفصال، وتكوين قيعان البحر في أثناء سيرها وتدميرها، تصبح أنماط علم الجيولوجيا معقولة ومفهومة. تلك هي اللحظة الإبداعية للجيولوجيا، والمتمثلة في اكتشاف الصفائح التكتونية التي أضحت العمود الفقري لكل ما نفهمه من أسباب كون الأرض على ما هي عليه.

إذن فالقارات تنجرف، لكنها لا تحرث في طريقها قاع البحر، بل تطفو فوق ما تحتها وتدفعها تيارات الحمل الحراري أسفل سطح الأرض، وهذه العملية ليست في الماضي فحسب، بل إنها جارية حتى الآن، فما زال المحيط الأطلسي يتوسّع

حاليًا بمعدل يقرب من ٢,٥ سنتيمتر سنويًا، وما زال الخط المغناطيسي يُبنى. لقد تطلب إقناع العلماء أدلة مذهلة في إمكانية حركة سطح الأرض وتنقله، غير أن أنماط المغناطيسية لقاع البحر أبعدت كل الشكوك وجعلت الأمرَ غير قابل للإنكار. أما في وقتنا الراهن فيمكننا قياس حركة القارات جميعًا عبر استخدام بيانات نظام تحديد المواقع العالمي GPS، إذ بوسعنا رؤية محركات هذه الحركة وهي تعمل، لكن يكمن جوهر تاريخ الأرض القديم وشكلها الراهن بآلية الطاقة المغناطيسية التي يمكن تثبيتها في صخور الكوكب لآلاف السنين.

تجسّد الطاقتان الكهربائية والمغناطيسية شراكة لها أهمية عظمى في حياتنا، ويستثمر جهازنا العصبي الطاقة الكهربائية لإرسال الإشارات العصبية إلى أنحاء أجسامنا، كما أن حضارتنا المعاصرة تعمل بالقوة الكهربائية، أما الطاقة المغناطيسية فتسمح لنا بتخزين المعلومات وتنظيم الإليكترونات الصغيرة التي تنجز المهام. وهكذا، من المدهش أن حضارتنا المعاصرة أبلت بلاءً حسنًا في إبعاد أي ضرر قد ينجم عن عالم الطاقة الكهرومغناطيسية، فنادرًا ما نواجه صدمات كهربائية أو انقطاع التيار الكهربائي، إذ نجيد تحصين أنفسنا من أضرار الحقلين الكهربائي والمغناطيسي، فنكاد نمارس حياتنا ولا نشعر بوجودهما. إنه دعم مدهش بمسألة تحكمنا بالطاقة الكهرومغناطيسية، لكنه كذلك أمر يدعو للحزن لأننا نخفي هذا المظهر الاستثنائي من العالم بعيدًا عن أنفسنا، لكن ربما يحمل المستقبل في جعبته أمورًا أخرى تذكرنا بهذا العامل مما لا يبعده عن أذهاننا كليًا.

ومع توجه عصرنا الحالي نحو إدمانِ الوقود الأحفوري، يرجح لنا ظهور أحد المخارج التي تفضي إلى حلول مناسبة مع مرور الوقت، فلن تجري عملية توليد الطاقة في محطات الطاقة البعيدة عنا، بل يمكن توليد الطاقة المتجددة بأماكن قريبة من منازلنا، ولعلنا نراها في المستقبل تبرز وتكبر بوصفها مصدرًا لطاقتنا الكهربائية. صُنِع وجه ساعة معصمي من خلايا شمسية، وهذه الساعة تعمل معي بلا انقطاع منذ سبع سنين. والتقنيات التي ستجهز منازلنا لحصد الطاقة الشمسية أمست متوفرة بالفعل، بالإضافة إلى الطاقة الحركية الصادرة من مشي أقدامنا، وكذلك طاقة الأمواج النابعة من مصبات الأنهار. إن المبادئ التي تعتمد على عملها تلك الأشياء كلّها هي المبادئ نفسها التي تعمل على الكهرومغناطيسية.

***

تبقت جزئية أخيرة في النمط الكهرومغناطيسي؛ رأينا أن تيارًا كهربائيًا يمكنه أن يولد حقلًا مغناطيسيًا في محمصة الخبز الكهربائية، لكن هذه العملية تسير كذلك في الاتجاه المعاكس. عند تحريكنا لمغناطيس قرب سلك فسيحثّ الجسيمات المشحونة مثل الإليكترونات، مما يعني أنه بوسعنا تكوين تيار كهربائي لم يكن موجودًا أصلًا. وهذا ليس وثيق الصلة بالمستقبل فحسب، بل يجسد كذلك ما يمكّن شبكات محطاتنا الكهربائية من عملها في الوقت الراهن، فلا نستطيع تمرير الطاقة إلى الشبكة الكهربائية إلا من خلال حركة قطع المغناطيس، سواء باستعمال المحركات «التوربينية» في محطات الطاقة النووية أو المشتغلة بالغاز، أو عبر تشغيل مقبض راديو الرياح . ومن أجمل النماذج لاستخدام الكهرباء والمغناطيس، وأبسطها لتوفير الطاقة الكهربائية لعالمنا؛ «توربين» الرياح [الطاحونة الهوائية].

تبدو الطاحونة الهوائية هادئة بمشاهدتها من الأرض، وصرحًا أبيض ومتبخترًا عاليًا بمراوحه الكبيرة والأنيقة والدوّارة، لكن هذه السكينة والهدوء سرعان ما تنقلب رأسًا على عقب عندما تطأ أقدامنا مبنى برج الطاحونة التي يعم أجزاءها الداخلية طنينٌ صاخبٌ عميق، فندرك حينئذ أننا دلفنا إلى باطن ما يشبه آلة موسيقية عملاقة. تُعد الطاحونة التي دخلتها في مدينة سوافهام شرقي إنكلترا إحدى القلائل من بين نظيراتها، التي ينظم المسؤولون فيها ساعات زيارة محددة للراغبين بالتعرف إلى مكوناتها الداخلية، والحقيقة أنها أكثر من مجرد مكان معزولٍ وناءٍ، فهي رحلة جديرة بالعناء قطعًا.

نتسلق السلالم الدائرية داخل البرج مارّين بِطَنين المراوح العملاقة التي ترتفع وتهبط، بمقدورنا أن نشعر بضرب الهواء لهيكل الطاحونة، وندرك اقترابنا من قمتها عندما يبدأ الضوء بالوميض، فضوء الشمس الطبيعي يتقطع مع دوران المراوح، وهكذا نصعد عاليًا في نهاية المطاف لندخل إلى صالة مشاهدة سماوية محاطة بسياج دائري بـ٣٦٠ درجة على ارتفاع ٦٧ مترًا، وتقع تحت محور «التوربين» مباشرة. هنا سيزول أي إحساس بالهدوء، فالمراوح الثلاث الضخمة التي يبلغ طول كلٍ منها ٣٠ مترًا تدور بسرعة وحيوية عاليتين، بما لا يدع مجالًا للشك أن عملية حصد الطاقة هنا جارية على قدم وساق، وتستجيب سرعة مراوح الطاحونة وأنينها لارتفاع الرياح وهبوطها استجابة شبه فورية، وهذا وحده كافٍ وبديع.

لكن المغزى من هذا كله يتوارى خلف القطعة المحورية البيضاء، وهي جزء الآلة الذي يقع وراء المراوح. فلو وجّهت أنفي نحو الزجاج وألصقته به، ونظرت للأعلى، لأمكنني رؤية المحور كله يدور. وتدور كذلك فوق رأسي مباشرة حافة المحور القريبة من البرج بكل انسيابية على حلقة داخلية ثابتة، وتصطف هذه الحافة مع قطع مغناطيس دائمة وقوية، وذلك حتى تدور قطع المغناطيس متجاوزة داخل المحور. وتصطف الحلقة الداخلية بحركتها مع ملفات نحاسية تتصل كلٌ منها بمجموعة دوائر في الخلف، ومع الحركة السريعة لكل مغناطيس حول كل ملف، يولّد ذلك تيارًا عبر السلك. تنتقل هنا الإليكترونات في الملف ثم يجرّها مجددًا كل مغناطيس يمر بها، وتنتقل الطاقة من حالة الدوران لتصبح طاقة كهربائية في الأسلاك من دون تلامس قطع المغناطيس مع تلك الأسلاك، وتدفع المراوح قطع المغناطيس لتتجاوز الملفات، فتكوّن قواعد الحث الكهرومغناطيسي تيارًا في كل ملف، وهكذا تولد الكهرباء.

يعمل هذا المبدأ في جميع محطات تزويد الطاقة بلا استثناء، سواء أكانت تعمل بالفحم أم الغاز أم الطاقة النووية أم طاقة الأمواج. تُدفع قطع المغناطيس مرورًا بالأسلاك فتتحول طاقة الحركة إلى تيار كهربائي، وتكمن روعة طاحونة الهواء في أنها بحد ذاتها مادة خام أولية؛ فالرياح تدير المغناطيس الذي بدوره يولّد تيارًا، ويُسخّن الماء في محطة توليد تعمل بطاقة الفحم ليدير محركًا «توربينًا» بخاريًا يعمل من جانبه على تدوير المغناطيس. أما المحصلة فمتشابهة، لكنها تتطلب مراحل إضافية قليلة لبلوغها، كلما ركّبت أيها القارئ الكريم قابسًا كهربائيًا، فتذكر أنك تستهلك طاقة تتدفق إلى شبكة الكهرباء مع دفع مغناطيس للإليكترونات في ملف من سلك نحاسي. إن الكهرباء والمغناطيس توأمان لا يفترقان، ويعتمد أساس حياتنا المعاصرة على الطاقة التي تُستمد وتُوزّع باستغلال الرقصة التبادلية بين هذين التوأمين. لقد أنجزنا عملًا عظيمًا بإخفاء معالم تلك الرقصة، إذ حاصرناها داخل أسلاك محصّنة وخلف جدران متينة وكابلات مدفونة. وأبلينا بلاءً حسنًا بحجب ذلك عن العيون، فلا يرى الطفل الذي يولد اليوم أو يعرف عن قرب ما هي حقيقة الطاقة الكهربائية أو الطاقة المغناطيسية، وربما تُحرم الأجيال القادمة من أي احتكاك ومشاهدة قريبة لأناقة الطاقة الكهرومغناطيسية أو أهميتها طالما تسترها دواعي التطوّر، وتخفي طريقة عملها الحيوية، لكنها تكتسب أهمية بالغة، لأن نسيج حياتنا المعاصرة محبوك بخيوط الطاقة الكهرومغناطيسية في أيامنا هذه.

الفصل التاسع: نظرة من منظور مختلف

يعوّل كل إنسان على ثلاثة أنظمة لحفظ الحياة؛ الجسم البشري، وكوكب الأرض، والحضارة التي نحيا فيها. والتوازي بين هذه الأنظمة الثلاثة إنما يتسم بالقوة والترابط نظرًا لوجودها جميعًا في إطار فيزيائي متماثل. ولعل اكتساب إدراك أرقى لتلك الأنظمة الثلاثة من أفضل الأعمال التي بمقدورنا أن ننجزها للحفاظ على حيواتنا وإبقاء مجتمعاتنا في ازدهار مستمر، وما من شيء آخر له من المنفعة [البراغماتية] والسحر الأخّاذ معًا أكثر منها، ولذلك يطرح هذا الفصل الختامي من الكتاب منظورًا يتناول فيه هذه الأنظمة لحفظ الحياة كُلًا على حدة.

الإنسان

أنا أتنفس وأنتم تتنفسون، تحتاج أجسامنا أن تتلقى جزيئات الأكسجين من الهواء وأن تخرِج ثاني أكسيد الكربون، وكلنا بوصفنا بشرًا نسير في هذه المعمورة بنظام خاص بنا لحفظ الحياة، ألا وهو الجسم بكلّ ما فيه؛ داخله وخارجه. أما أجزاؤنا الداخلية فيمكنها أداء أنواع العمليات جميعها، لكن ذلك يكون فقط في حال تزويدها بحاجاتها التي تأتي من خارج الجسم، كالطاقة والماء وكتل جزيئات البناء المناسبة. يُعد التنفس أحد وسائل استمداد الحياة المبتكرة، ويتمثل بتوسيع القفص الصدري، وزيادة حجم الرئتين، ودفع الهواء لحشود جزيئاته القريبة من الفم نحو القصبة الهوائية ، فإذا ما أخذنا نفسًا عميقًا يتوسّع صدرنا لحجم أكبر، مما يتيح حيزًا لدخول مزيد من هواء الجو والتلامس مع أصغر أنسجة الرئة، ثم مع ارتخاء العضلات حول القفص الصدري، تجذب الأرض ضلوع القفص نحو الأسفل لتدفع جزيئات الهواء في الرئة لتصبح متقاربة إلى أن تتزاحم بين بعضها وتخرج عائدة إلى مثيلاتها في الهواء، ليس الأكسجين هو الجزيء الوحيد الذي يدخل إلى الرئة ويستفيد منه الجسم، فعلى إثر تمرير المستشعرات الأنفية العلوية للهواء، تتصادم مليارات من الجزيئات التي تخبط بالجدران مع جزيءٍ أكبر موصول بالجدار، ويحتويها بالكامل كما يحتوي القفل المفتاح، وتستشعر الخلية النقرة الجزيئية عند اندماجهما معًا، وهذا استهلال لحاستنا بالشم، التي تُعد تجسيدًا لبضع جزيئات طافية من الصنف المناسب عند اصطدامها بالمكان الصحيح، وبذا يحتوي الداخل بعضًا من المعلومات عمّا في الخارج.

يتكوّن الجسم البشري من مجموعات متناسقة وهائلة من الخلايا، إذ وصل آخر تقدير لها إلى ما يربو على ٣٧ تريليون خلية، وكل واحدة منها تعمل كالمصنع الصغير. وتحتاج كل خلية إلى إمدادات، لكنها تحتاج كذلك إلى بيئة آمنة، بدرجة حرارة مناسبة، ومستوى رطوبة، وأُسّ هيدروجيني معيّن. وتضبط أجسامنا أوضاعها ونحن نمشي هنا وهناك لنتكيّف مع الظروف والأوضاع من حولها، فإذا قضينا وقتًا أطول من اللازم في غرفة حارة قليلًا، فستزداد سرعة اهتزازات الجزيئات القريبة من الجلد نظرًا لحصولها على طاقة إضافية، ولو نُقلت هذه الاهتزازات إلى أعماق الجسم فقد تبدأ بالإخلال بنشاطات خلايا الجسم، ولهذا نحتاج عند جلوسنا في الغرفة الحارة إلى التخلي عن الطاقة. يبدو هذا يسيرًا؛ تتبخر جزيئات الماء بسهولة في الحرارة فتأخذ معها الطاقة. يحتوي الجسم على كميات كبيرة من الماء قابلة للتبخر، لكن الماء عالق بالداخل لأن أجسامنا تحتفظ به. إذن نحن بحاجة إلى أن نتعرّق.

تمتلك جلودنا طبقة نحيفة من الجزيئات الدهنية تحت خلايا الجلد الخارجية، وتشكّل حاجزًا يمنع أي سائل من التحرك بين الداخل والخارج، لكن بينما نجلس في الغرفة الحارة، يفتح الجلد أنفاقًا عبر الحاجز، ألا وهي المسام، ويرشح العرق عبر المسام ليخترق الطبقة المقاومة لخروج الماء، فيصل إلى الخارج. تتصادم جزيئات الماء مع بعضها ومع سطح الجلد الحار إلى أن تتحرك أكثر الجزيئات حيوية من بينها بسرعة تجعلها قادرة على الهروب، فتطفو خارجة واحدة بعد الأخرى لتترك الجلد بحالة أبرد قليلًا. وعندما يبرد الجسم بما يكفي، تنغلق المسام، ليعود الجلد مقاومًا لخروج الماء كما كان. وليس الجلد مقاومًا للماء في حالة منع خروجه فقط، بل هو كذلك لاحتفاظه بالماء في الداخل، لأن تزويد الماء من الداخل محدود. يُنقل الماء حول الجسم من خلال الدم الذي هو نظام الإمداد الداخلي والذي يسمح للجسم باقتسام موارده وتشاركها، ولا بد أن يجري نظام الإمداد المذكور باستمرار وبلا انقطاع للإبقاء على خلايانا حيّة، وبوسعنا فحص سريان هذه العملية الجارية على قدم وساق من خلال النبض.

إن النبض حركة اضطراب ثلاثية الأبعاد، وموجة ضغط متنقلة تعطينا إشارات دالة على تدفق الدم، فقلب الإنسان ينتظم بعصر الدم في حُجراته، فيرفع من ضغط الدم، مما يجبر الدم على الخروج نحو الشرايين. إنه دفع يتسم بالقوة، وعند وصوله إلى النهاية، يهبط ضغط الدم في حجرات القلب. تنعكس الآن القوى التي تضخ

الدم، إذ يعود الدم المُبعد إلى التدفق نحو الداخل إذا لم يتجه نحو الصمامات ذات المسار الواحد التي تحرس المخرج، ويغلق الاندفاع المفاجئ المرتد للدم الصمامات، ويرتطم السائل بأنسجة الصمام عند توقفه، وهذا الارتطام قوي إلى حد أنه يدفع نحو الخارج باتجاه الأنسجة القريبة منه، التي تدفع بدورها الأنسجة وراءها، فتنتقل موجة الضغط عبر الجسم، محدثةً انضغاطًا طفيفًا على العضلات والعظام بطريق تنقلها. تستغرق هذه الموجة من الضغط ٦ أجزاء من الثانية تقريبًا لتصل إلى خارج الجسم، وإذا استعملنا سماعة طبية أو حتى قرّبنا أذننا من جسم أي شخص فسنسمع ذلك؛ إنها دقات القلب، ولو لم تنتقل الموجات عبر أنسجتنا لما استطعنا سماع صوت القلب، وهي في الحقيقة دقة مزدوجة بنبضتين، لأن القلب يحتوي على أربعة صمامات، ينغلق اثنان منها ثم يعقب ذلك انغلاق الآخَرَين تباعًا. يميط هذا التآلف العَرَضي بين الفيزياء ووظائف الأعضاء اللثام عن أبرز علامات الحياة في أجسامنا جميعًا.

يحمل الدم بعد التعرّق جزيئات مائية أقل من ذي قبل، فيحتاج الجسم الآن إلى ما يسد نقصه من الخارج، ولكي يأخذ الشخص شربة ماء بسيطة، يتعيّن على خلايا جسمه أن تنسّق نشاطاتها تنسيقًا جيدًا. القرارات والأفعال اللازمة للتنسيق بين أعضاء الجسم الضرورية لتنفيذها إنما تُتخذ لا شعوريًا في البداية، ثم يدركها الدماغ بعد ذلك.

ليس هناك فائدة تذكر من الخلية الدماغية بحد ذاتها، فهي لا تعمل وتنشط إلا بسبب ارتباطها بخلايا أخرى، وتظهر أهمية تلك الشبكة من الروابط على قدر المساواة مع أهمية خلايا الدماغ نفسها. عند حدوث قرار بالعثور على شراب، نحتاج إلى الروابط، ويتعين على خلايا الدماغ الارتباط والتواصل مع خلايا أخرى أبعد عنها. أما أداة نقل هذا الاتصال الداخلي فتتكفل بها الألياف العصبية ، وهي « امتداد خيطي من الخلايا العصبية» يقوم مقام السلك الكهربائي. يبدأ الدماغ، على إثر نقل الجسيمات المشحونة كهربائيًا عبر غشاء في أحد طرفي الليفة العصبية، بتكوين إشارة كهربائية تتموّج وتنتقل على طول الليف العصبي من خلال حركة تتابعية تشبه لعبة الدومينو. فتوجد الإشارة العصبية عند نهاية أول ليف عصبي لتنتقل ببداية الليف العصبي الثاني، وهكذا دواليك. وترسل من أجل ذلك هذه الرقصة للجسيمات المشحونة كهربائيًا الرسالة عبر الفجوة، ثم تحملها نقلة دومينو أخرى وتمضي بها قُدمًا إلى الأمام، فتتناقل الرسالة من خلية إلى

أخرى، فلا يستغرق منها الوصول إلى عضلات الرِجْل سوى جزء من الثانية. وتأتي في أثناء هذا الوقت كذلك الرسائل من الألياف العصبية الأخرى حاملة معها إشارات منسقة إلى الرِجْل الثانية، فتنقبض عضلات الرِجْل لترفعك من الكرسي. وتحيل إشارات كهربائية أخرى إلى الدماغ ذلك الشعور بالأرض تحت أقدامنا، وتتغيّر درجة حرارة جلودنا مع توليد حركة أجسامنا نسيم هواء طفيف تنقله إشارات كهربائية للمخ.

ثمة كمية ضخمة من المعلومات تنتقل إلى داخل أجسامنا وتحملها الإشارات العصبية الكهربائية أو النواقل الكيميائية مثل الهرمونات، ويشكّل مجموع الأعضاء والأنسجة المختلفة للإنسان نظام جسمه المتكامل بوصفه كائنًا حيًا، لأنه مترابط، ليس من خلال ما يستمده من مصادر فقط، بل من خلال المعلومات التي تأتي على هيئة تدفقات غزيرة ومنسّقة ومتداخلة أيضًا.

كنا قبل زمن طويل من «عصر المعلومات» بحد ذاتنا آلات للمعلومات. تنقسم تلك المعلومات إلى فئتين؛ أولهما: المعلومات المنقولة: وهي الإشارات العصبية والإشارات الكيميائية التي تتحرك وترشح وتومض وتتدفق في الوقت الراهن من خلالنا، لكننا نحمل كذلك كميات هائلة من المعلومات المخزونة [وهي الفئة الثانية]، إنها مكتبة ضخمة من الجزيئات المحفوظة في الحمض النووي في أجسامنا . وتتلاصق في العالم من حولنا ملايين الذرات المتشابهة وتتجمع مع بعضها لتكوّن تكتلات وتكدسات ضخمة من الزجاج والسكر والماء، لكن في الجزيء الكبير للحمض النووي الذي يأتي على شكل جديلة، تستقر كل ذرة دقيقة في مكانها المحدد لها، والتموضع المضبوط للذرات على اختلاف أنواعها يمنح أجسامنا قِيَمًا أبجدية، فيمكن لمنظومة جزيئية من الخلايا أن تسير على طول تلك الجديلة لتقرأ أبجدية حمض نووي مكوّنة من حروف A و T و C و G، ومن أجل استخدام هذه المعلومات بغرض بناء بروتينات أو لضبط نشاط الخلية. وبالتالي يجب أن نكون عمالقة بالمقارنة مع الذرات نظرًا إلى ضرورة احتواء كل خلية شبيهة بالمصنع على أشياء كثيرة.

إن أجسامنا آلات ضخمة؛ فحتى الخلية الواحدة قد تحتوي على مليار جزيء، ويوجد في الجسم ١٠ ملايين مليون خلية (١٠١٣)، مما يجعلنا بحاجة ماسة إلى نظامي نقل وإشارة فعّالين؛ لغرض تنسيق عمل تلك الأعضاء الأساسية كلها، على أن هذا التنسيق يستغرق وقتًا. لا يمتلك أي إنسان «تفاعلات بسرعة البرق»، إذ

إن تشابك وتعقيد أجسامنا الرائع يتطلب قدرًا كبيرًا من الزمن لتنفيذ أية عملية من عملياته، وأقصر وقت قد نراه جيدًا يقترب من سرعة طرفة العين (وتقدّر بثُلث ثانية)، ويكتمل في أثناء هذه المدة بناء ملايين البروتينات داخل أجسامنا، وتُبث مليارات الأيونات عبر وصلاتنا العصبية في الوقت الذي يشرع فيه العالم الأبسط خارج أجسامنا بأحداثه ولا يتوقف عن التطوّر.

لا يكف محرّك المعلومات داخل أجسامنا عن الحركة والتعاطي والتحضير عندما نسير من غرفة إلى غرفة، لكن هذا النظام الضخم بحاجة إلى معلومات عما يدور حوله، إذا قلنا إننا في هذه اللحظة قد نشعر بحاجتنا إلى ماء، فإننا نمتلك مستشعرات أو مجسّات مدمجة فينا، وهي أعضاء جسد تتغير استجابةً إلى البيئة وتتشاطر المعلومات مع الدماغ، ولعل أكثر الحواس التي ندركها حاسة الإبصار.

نعيش منغمسين بالضوء، لكن الجسم يُبعد معظمه عنّا، يحمل ذلك السيل من الضوء معلومات عن العالم لأن طبيعة الضوء تقدم إشارات ودلائل عن منشئه، لكن معظم المعلومات الواردة من الضوء تمر مباشرة منّا. يسقط جزء ضئيل من ذلك الضوء الغزير على بؤبؤَي العين؛ وهما الدائرتان الصغيرتان اللتان لا يزيد قطرهما على بضع مليمترات. ولا يُسمح لأشعة الضوء بالدخول إلى بؤبؤ العين سوى جزء صغير وهو الأشعة المرئية، ومن هذه العينة الصغيرة يأتي كل هذا الثراء المرئي الذي نعده شيئًا مسلّمًا به. ولا بد أن تُوجّه هذه الموجات الضوئية عند عبورها إلى داخل العين لكي يُتاح حصد المعلومات. وتحرس نوافذ رؤيتنا للعالم عدسات شفافة تقلل من سرعة الضوء بنسبة ٦٠ بالمئة في الهواء. وإثر إبطاء هذه الأشعة الضوئية، فإنها تنحرف، وتعدّل العضلات الصغيرة شكل العدسات لضمان أن تكون جميع الأشعة الصادرة من شيء معين في الخارج، أي خارج الجسم، ستتجمع عند مؤخرة العين مرة أخرى، ولا شك أن هذه العملية الانتقائية مذهلة. إننا نعيش على افتراض رؤيتنا لكل ما يوجد من حولنا، لكن الحقيقة أننا نأخذ عينة من أصغر الأجزاء مما هو موجود في الخارج لتكوين الصور.

مصدر قدوم أشعة الضوء إلى شبكية العين ربما انتقل من مكان بعيد كالقمر أو قريب مثل أصابعنا، غير أنها كلها تمتلك التأثير نفسه. يمتص الأوسبين الواحد فوتونًا واحدًا، فيلتوي الجزيء ليدور على نفسه وتبدأ سلسلة من قطع الدومينو بإرسال إشارة كهربائية إلى أنظمة التحكم في الجسم. ومع مشي جسمنا الظمآن

ودخوله إلى المطبخ، تتدفق الفوتونات التي تقافزت من حوض المغسلة والحنفية والغلاية نحو عيوننا، لينهمك دماغنا بمعالجة تلك المعلومات بطرفة عين، لتجعلنا نميز ما نلتقطه منها أولًا. إذا كان المطبخ مظلمًا قليلًا نفتح مصباح الإنارة فينهمر شلال من موجات الضوء، تشع هذه الموجات نحو الخارج، وبمجرد استهلال رحلتها يعمل المحيط الذي نعيش فيه على تعديلها وانعكاسها وانكسارها وامتصاصها إلى أن تأخذ عيوننا ما يتبقى منها. وليس الضوء وحده هو ما يتدفق من حولنا.

إن البشر حيوانات اجتماعية، ونحمل معنا شبكات تواصلنا الاجتماعي المتمثلة بالاتصالات، فنرسل الإشارات ونستقبلها من الآخرين، ويعد صوتنا من أشد المميزات خصوصيةً، فهو كآلة العزف الموسيقية التي تنتج موجات الصوت وتشكّلها، ثم يبث ما يخرج إلى محيطنا. لا يتصوّر أي بريطاني إعداد شاي ساخن من دون أن يسأل من بقربه: هل تود أن تشرب معي الشاي؟ ونطرح سؤالنا بالصوت، ويلتقط المتلقي الإشارة بوساطة أذنيه، ويُحْدِث سماع السؤال تدفقًا جديدًا للمعلومات داخل جسمه، فيشعّب المعنى ويدركه ويجمعه إلى أن تعطي الألياف العصبية تعليماتها إلى العضلات الصوتية لتقديم الرد المناسب، وفور أن ترجع لنا الرسالة، نقوم بتغيير العالم بما يتناسب مع كل حالة، فنعمل مثلًا على إعادة الأواني التي أمامنا، والمصنوعة من الفخار والمعادن.

تتكوّن أجسامنا من ذرات كثيرة، ومع أن تنوعها رائع إلا أن ثمة حدودًا لما يمكن أن تؤديه مباشرةً نظرًا لأسلوب ترتيب تلك الذرات، غير أن البشر خبراء في التحكم بالعالم لإنتاج أدوات قادرة على فعل ما لا نستطيع فعله، إذ إننا لا نستطيع حمل الماء بأيدينا وهو يغلي، لكن الغلاية الفولاذية قادرة على ذلك، ولا نستطيع أن نحوّل جزءًا من أنفسنا إلى حاوية للأعشاب المجففة المقاومة لدخول الهواء، لكن الآنية الزجاجية تتكفل بهذه المهمة، ولا نمتلك مخالب أو قواقع أو أنيابًا، بل بإمكاننا صنع السكاكين والملابس وفتّاحات العلب. الكوب المصنوع من الفخار قادر على حمل شرابنا الساخن من دون نقل طاقة الحرارة إلى أصابعنا الحساسة حتى لا تحترق. المعادن والبلاستيك والفخار كلها تقوم بدور الوسيط في هذا العالم، وتساعدها المواد ذات الأصول البيولوجية؛ كالخشب والورق والجلد.

تحمل الغلاية جزيئات الماء في الوقت الذي تمنحها فيه الطاقة، وتكون بشكل اهتزازات على أصغر مستوى، فتتزاحم الآن أسرع بكثير من ذي قبل، ويمكن لنا

أن ننقلها إلى حاضنتها الفخارية الجديدة. ومما يثير الإحباط أننا لا نستطيع أن نرى إلا ملمحًا من رذاذ الحليب وهو يقفز عائدًا بعد صبّنا إياه في كأس الشرب. إنه موجود أمامنا في مكان واضح للعيان، لكنه غير مرئي عمليًا لأننا ببساطة غير قادرين على معالجة الإشارات بسرعة كافية، ولا نستطيع بعد ذلك رؤية قعر الكوب، والسائل الذي كان شفافًا جزئيًا أصبح الآن معتمًا؛ لأن الضوء يتقافز من ملايين القطيرات الدهنية والضئيلة.

في الوقت الذي نتحكّم فيه بالعالم من حولنا، نرى أن وقوفنا على الأرض بقوة ظاهرة مُسلّم بها، ويمكننا التحكم فيها نظرًا لتطور أجسامنا وقابليتها للتوافق معها. لو كانت جاذبية الأرض أقوى، لاحتجنا على الأرجح لأرجل أقوى، ولربما وجدنا الحياة برجلين فقط عسيرة. أما لو كانت الجاذبية أضعف، لربما تطورت أجسامنا لنصبح أطول، لكن الحياة ستغدو أبطأ لأن كل شيء سيستغرق وقتًا أطول ليهبط. عند رفعنا لرجل واحدة لنتحرك بخطوة، فإننا نعتمد على شد الجاذبية لجعلنا نهبط إلى الأمام، إننا ندور حول قدمنا الثابتة وفي الوقت الذي نتوقف فيه عن الهبوط بالقدم التي تخطو، فإن جسمنا قد أكمل حركته نحو الأمام. المشي مستحيل من دون الجاذبية، وقد تطورت أجسامنا لتتناسب مع الجاذبية، كما أننا نأخذ الحجم والشكل الصحيحين والمناسبين للمشي على قدمين. وما إن نلتقط كأس الشراب ونتحرك نحو الباب، حتى نستخدم أجسامنا كبندول مقلوب رأسًا على عقب، إذ نؤرجح كل رجل من رجلينا إلى الأمام عند دوراننا على محور رجلنا الأخرى فنتحرك، ويؤثر إيقاع مشينا الذي يسببه التأرجح المنتظم في السائل الموجود في الكوب، مما يجبره على الانسكاب مع حركة الإيقاع ذاتها.

نستخدم ونحن نمشي مائعًا داخل الجمجمة ليساعدنا على الاتزان، ولا يكف المائع الذي يترجرج في أعماق التجويف الصغير للأذن الداخلية عن أداء مهمته عند توقفنا، ولا يتوانى عن حركته عندما نبدأ مرة أخرى. وتُغذى المستشعرات على جدران ذلك التجويف بتلك المعلومات في الشبكة المترابطة العملاقة لدماغنا، مما يساعد على اتخاذ القرارات حول أي من العضلات هي التي ستقوم بالحركة الآتية.

في هذه الحالة نصل إلى الباب وندفعه لينفتح بيدنا الحرة، فنخطو خارجًا.

الأرض

نمضي بطريقنا إلى العالم الخارجي، فننظر من جانبينا عبر الغلاف الجوي غير المرئي إلى بقية العالم. إن كوكبنا نظام يتكون من خمسة مكوّنات متفاعلة مع

بعضها؛ الصخور والغلاف الجوي والمحيطات والجليد والحياة. وكلٌ له إيقاعه وديناميكيته الخاصة، لكن التنوع العظيم الذي نراه على الأرض ما هو إلا نتاج للرقصة الأزلية التي تربط بينها كلها. يدفع كل ذلك القوى نفسها، كما أن ثمة أوجه شبه في مواقع غير متوقعة، ومع تطلعنا من خلال الجزيئات غير المرئية التي تملأ السماء، تتحول جيوب الهواء حسب حالة طُفُوّها، ويرتفع الهواء الذي سخّنته البناية التي خطونا خارجها الآن نظرًا لقلة كثافته بالمقارنة مع الهواء المحيط به، وقد يبلغ طول عواميد الهواء الصاعدة من الأرض الساخنة عدة كيلومترات، وربما يستغرق صعود الهواء خمس دقائق أو نحوها لكل كيلومتر. أما الهواء الأبرد والأكثف، فيتدفق إلى الأسفل ليأخذ مكان الهواء الساخن الصاعد، وتشده جاذبية الأرض نحو الأسفل. وتمتد هذه الأنماط من الحمل الحراري عبر المشهد الذي ننظر إليه، والهواء لا يسكن أبدًا.

إذا نظرنا إلى الجانبين على سطح المحيط العميق فقد تشمل نظرتنا تدفقات طفو مشابهة وغير مرئية كذلك. يهبط الماء المالح والبارد في شمال الأطلسي إلى الأسفل ونحو مركز الأرض، على غرار الهواء الأكثف والأبرد. وفور بلوغه قاع المحيط، يتدفق بشكل جانبي عبر قاع البحر إلى أن يسخن أو يختلط مع ماء أقل ملوحة، ثم يطفو عائدًا إلى السطح، وقد تستغرق في السماء دورة الطفو للأعلى والهبوط للأسفل بضع ساعات. أما في المحيط، فقد تستغرق الدورة الواحدة أربعة آلاف سنة، ويُحمل الماء ليطوف نصف الكرة الأرضية.

ثم إن الصخور ذاتها أيضًا تتحرك من تحت أقدامنا الآن، تشكّل المادة المتكوّنة في جوف الأرض معظم الكوكب، وهو طبقة سميكة بين السطح الخارجي للنواة الخارجية والقشرة الرفيعة التي تطفو فوقها. إنه سائل، لكنه في الوقت نفسه لزج ومتثاقل وبطيء. وتسخّن نواة الأرض الحارة، وكذلك الاضمحلال البطيء للعناصر المشعة المدفونة داخلها؛ تلك الطبقة، ويحدث هذا الانتقال للطاقة من حول الصخور العميقة من تحت أقدامنا جميعًا حتى هذه اللحظة. وما إن تصبح صخرة الغلاف الساخنة عائمة، حتى تطفو نحو الأعلى ويهبط الصخر الأبرد نحو الأسفل ليحل محلها، لكن الصخر المنصهر تحت هذه الدرجات من الحرارة والضغط يستغرق زمنًا لكي يتحرك، فقد يستغرق عمود وشاح الذي يقع في أعماق الأرض [أو طبقة من الصخر المنصهر] سنة كاملة ليطفو نحو الأعلى بمعدل ٢ سنتيمتر. أما الدورة الكاملة من الحضيض إلى القمة وتكرارها مرة

أخرى فقد تستغرق ٥٠ مليون سنة. غير أن مركز الأرض يخضع للفيزياء نفسها كما هو الحال مع الغلاف الجوي والمحيط، فيسوق بلا انقطاع الحرارة من الداخل إلى الخارج.

تنتقل من مركز الأرض كمية هائلة من الطاقة الحرارية باستمرار، لكنها كمية لا تُذكر إذا ما قورنت بكمية طاقة الضوء الصادرة من الشمس والمتجهة لكوكبنا. وينتشر تقريبًا في كل بيئة أرضية اللون الأخضر، سواء في زاوية من الزوايا أم على المساحات الكبيرة، ولعل تلك الخضرة كامنة في طبقة من طحلب على حائط من الطوب أو في تكوّنات حيوية لغابة مطرية، لكن النباتات بالتأكيد موجودة في كل مكان. وتجسد كل ورقة نبات التركيب الداعم لطبقات من خلايا اليخضور (الكلوروفيل) تعمل كلٌ منها كمصنع جزيئي صغير، إذ تحول ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون إلى سكر وأكسجين. ويُؤخذ جزء صغير من الطاقة في فيض الضوء لينهمر على كل عشبة ويبقى مخزونًا كسكر يُشكّل وقودًا للمستقبل. وتظل النباتات منشغلة بالعمل الدؤوب حتى في أهدأ الأيام المشمسة، وفي أي حقل يبدو عليه السكون وعدم التغيير. وما تنفك تنتج جزيئات الأكسجين، جزيئًا إثر جزيء، فنتنفسه، وهو يكفي لإبقاء جميع الكائنات الحيّة الأخرى على الأرض على قيد الحياة، ويكفي كذلك للمحافظة على غلاف جوي يكون الأكسجين فيه بنسبة ٢١ في المئة. ولا ينقطع حراك هذه الجزيئات الضئيلة عن إعادة صنع خُمس الغلاف الجوي لهذا الكوكب بأسره. وإذا نظرنا من حولنا يمنةً ويسرةً من خلال الهواء، فإننا ننظر في الحقيقة إلى محصول الجزيئات المتزاحمة الصادر عن ملايين الأشجار والأعشاب والطحالب والسراخس ونباتات أخرى كثيرة، وهو ما أنتجته على مدار آلاف السنين السالفة، وهذا ما يُعرف بعطاء الجيش الأخضر.

نستطيع أن نرى من موقعنا على الأرض ومن مكان قريب من بيتنا مقطعًا صغيرًا فقط من كوكبنا، ولو تخيلنا أننا نطير عاليًا في الهواء فسنرى ما هو أكثر وأوسع، فمع ارتفاعنا بالغلاف الجوي تتوزع جزيئات الهواء، وتشدها الجاذبية نحو الأسفل، ولا يمكنها سوى التشبث بطبقة صغيرة جدًا قريبة من سطح الأرض. وعند ارتفاعنا لنتجاوز أكبر العواصف الرعدية بمسافة ٢٠ كيلومتر على قمتها، فإن ٩٠ بالمئة من الجزيئات في الغلاف الجوي ستقع تحتنا. أما أعمق نقطة في المحيط فتقع على مسافة ١١ كيلومتر تحت مستوى البحر، ويوجد تحت ذلك صخر كثيف لمسافة تقرب من ٦٣٦٠ كيلومترًا قبل أن نصل إلى المركز. إن البشر مقيدون —

باستثناء حالة الانطلاق في صاروخ- بمدى رأسي قليل لا يتجاوز ارتفاعه ٣٠ كيلومترًا، داخل غلاف الكوكب الضخم الذي نسميه وطننا الأرض، ويبلغ سُمك الغلاف الجوي بالنسبة للأرض نفس سُمك طبقة طلاء تغطي كرة لعبة الطاولة (بينغ بونغ) بالنسبة إلى الكرة التي يغطيها.

إذا صعدنا إلى ارتفاع ١٠٠ كيلومتر، فإننا نضع أنفسنا رسميًا على الحد الفاصل بين الأرض والفضاء الخارجي، حيث بمقدورنا رؤية الكرة الأرضية تلتف من تحتنا بألوانها من أخضر وبني وأبيض وأزرق، ويدور الفضاء المظلم حولها، ويلقي امتداد المحيط من ذلك الارتفاع الشاهق الصدمة في نفس من يشاهده؛ طبقة مائية ضخمة بحجم كوكب ومكوّنة من جزيء بسيط يتكرر مرارًا وتكرارًا. إن الماء نسيج الحياة، لكن ذلك لا يصح إلا في النطاق المعتدل حيث لا حرارة شديدة ولا برودة قاسية، ومدى الطاقة التي تجعل جزيئاته في حالة حراك على شكل سائل. إذا أعطينا تلك الجزيئات طاقة زائدة فستهز الجزيئات المعقدة التي تأويها هزًا. أما إذا زدنا الطاقة أكثر، فستتبخر كغاز لا فائدة ترجى منه لحماية الحياة الهشة والضعيفة. أما على الطرف الأدنى من النطاق المعتدل وعند تخفيضنا للطاقة، تقل سرعة الاهتزازات إلى أن تضع الجزيئات نفسها في مكان مضبوط داخل شبكة الثلج، وتعد هذه الحال من انعدام الحركة ظاهرة مناقضة للحياة، حتى إن عملية بناء هذه البلورات الثلجية غير المرنة يمكن لها أن تفجر أية خلية حية تحتويها. إن كوكبنا يتمتع بالخصوصية، ليس لوجود الماء فيه فحسب، بل لأن الماء سائل في معظم الحالات. ومن الموقع الذي نرصد فيه الأمور هنا على حافة الفضاء، تهيمن أغلى ممتلكات الأرض على ذلك المنظور.

ربما يصدِر حوت في الأعماق موجات صوتية مع انسياب المحيط الهادئ، لينادي من قلب الظلام. لو أننا نستطيع رؤية ذلك الصوت ينتقل من تحت سطح المحيط، لشاهدناه وهو ينتقل خارجًا كالتموجات التي تظهر على بركة ماء، فيستغرق منه ذلك ساعة ليصل من كاليفورنيا إلى هاواي، لكن الصوت يخفيه الماء، وما من دليل على تلقيه من فوق. تمتلئ المحيطات باهتزازات نبضات الضغط المتداخلة والناتجة من تكسر الأمواج والسفن والدلافين والمنطلقة نحو الخارج. الهدير العميق للجليد القطبي قادر على الانتقال تحت الماء لآلاف الأميال، ومن منظورنا الذي نحتله على حافة الفضاء، فإن أحدًا لن يعلم بشيء من ذلك.

كل شيء في الكوكب يدور، وينتقل مرة واحدة حول محور الأرض كل يوم. تميل الرياح إثر هبوبها عبر السطح الدوّار إلى المحافظة على اتجاهها بخط مستقيم، مع أن الاحتكاك بالأرض والقيود التي يفرضها الهواء من حولها تضغط عليها وتوجه مسارها. وبمقدورنا أن نرى من ذلك المكان العلوي أن الرياح في نصف الأرض الشمالي تميل للاتجاه نحو اليمين، بالنسبة إلى الأرض، وهي تواصل هبوبها بالرغم من دوران الأرض. إذن فالطقس، لا سيما الأبعد عن خط الاستواء، يدور. تتحرك الأعاصير بحركة دائرية وكذلك العواصف التي نراها تلتف فوق المحيطات، وعين العاصفة بمنزلة محور العجلة، وكل عجلة لا بد أن تدور لأن الأرض تدور.

تتكدّس فوق القارة القطبية الجنوبية السحب الجليدية، وتوجد في كلٍ منها مليارات من جزيئات الماء كغازات تتراقص مع الأكسجين والنيتروجين، لكنها تتخلى عن طاقتها وتقل سرعتها مع برودة السحابة. وعند اصطدام أثقل الجزيئات وأبطئها ببلورة ثلج وليدة فإنها تتبعها، وتَثبُت كل منها في موضع في شبكة الثلج. ومع خبط ندف الثلج لداخل السحابة من فوقها وأسفلها، تجد الجزيئات نفسها على جميع جوانب البلورة الستة الأصلية في الحالة نفسها، وتعلق معها بالطريقة ذاتها، فينشأ مع تراكم جزيء إثر آخر بلورة ثلج متماثلة، وبعد ساعات من النمو البطيء تصل البلورة إلى الحجم الذي يجعل الغلبة للجاذبية، فتنهار ساقطة من السحابة. يوجد في الأسفل الصفيحة الثلجية للقارة القطبية الجنوبية، وهي عبارة عن التكتل الأضخم للجليد على ظهر الأرض، إذ يمتد جانبيًا لآلاف الكيلومترات، ومن الأسفل بسُمْك يصل إلى ٤,٨ كيلومتر. ولهذا التكدس الجليدي من الثقل ما يجعل القارة نفسها تقع تحت الضغط الذي يشكّله الوزن الإضافي. بيد أن كل جزيء من ذلك التمدد الأبيض يسقط في ندف الثلج، وقد ظلت أكوام ندف الثلج تنمو وتكبر لمدة طويلة من الزمن، وصار بعض الماء هنا متجمدًا منذ ملايين السنين. واهتزت في تلك الأثناء الجزيئات حول مواقعها الثابتة في شبكتها البلورية باستمرار، لكن ليس بالسرعة الكافية التي تمكنها من أن تعود سائلًا كما كانت. وعلى النقيض من ذلك، لا تهبط درجة حرارة الجزيئات الخارجة من براكين هاواي على شكل حمم، إلا لما هو دون ٦٠٠ درجة مئوية، ولأول مرة منذ تكوّن الأرض قبل ٤,٥ مليار سنة.

يصل إلى قلب محرك الأرض الخارجي إمداد الطاقة من الشمس، التي تعمل على الدفع بهذا المحرك بعيدًا عن الاتزان على إثر تسخينها الصخور والمحيطات والغلاف الجوي، أو على إثر مساعدتها للنباتات بعملية إنتاجها للسكر. وطالما يحدث عدم التوازن في توزيع الطاقة، تظل الفرصة قائمة دائمًا لتغير الأشياء. طاقة الحركة التي تحدث بسقوط المطر قادرة على نحت الجبال وتعريتها عند هطوله على صخرة جرداء. تقود الكمية الزائدة الهائلة من طاقة الحرارة عند خط الاستواء العواصف الاستوائية وتدفعها، مما يؤدي إلى العصف بأشجار النخيل، وإعادة توزيع الماء من مستوى البحر إلى الجبال العالية، وإرسال الأمواج التي تصطدم بالشواطئ. تُستخدم الطاقة المخزونة في النبات لبناء الأفرع والأعشاب والثمار والبذور، التي تنتهي مع مرور الوقت صلاحيتها والانتفاع منها مع انخفاض الحرارة، ولا يبقى سوى البذور، وهي حزمة المعلومات الوراثية التي كُتب عليها أن تعيد الدورة بالطاقة الجديدة من فيض الضوء القادم من الشمس. ويعيش كوكبنا ويحيا بسبب ذلك المَدَد المتواصل من الطاقة الآتية من الأعلى، الذي يغذّي المحرّك ويمنع الأرض من تقليل نشاطها تدريجيًا لتقع في وضع متوازن يتسم بالاستقرار وعدم التغيّر. لا نستطيع من هذا المكان العلوي على حافة الفضاء أن نرى التفاصيل الدقيقة، لكن بمقدورنا رؤية الصورة الشاملة؛ إذ تتدفق الطاقة على الأرض من الشمس، وتتسرب إلى المحيطات، ثم إلى الغلاف الجوي والحياة، ثم تنتهي في الفضاء مرة أخرى إثر إبعاد كوكبنا للأشعة الحرارية. تدخل كمية الطاقة نفسها وتخرج نفسها، لكن الأرض أشبه بالسد العملاق في تدفق الطاقة، إذ تخزن هذا المصدر الثمين وتستفيد منه بطرق لا حصر لها قبل أن تعيده إلى بقية الكون مرة أخرى.

نرى حين نهبط إلى مستوى الأرض أن الشاطئ ليس مكانًا جامدًا، بل عمليات مستمرة من مقاييس زمن ومقاييس حجم مختلفة. يحمل المحيط الطاقة معه من عواصف عاتية تقع في البحر، وتصدم هذه العواصف عند تكسرها على الشاطئ الرمال والصخور، فتطحنهما وتسحقهما معًا. تتشظى الصخرة بخروج فتاتها الضئيل مع كل ضربة ماء تتلقاها، وتنحت كل حصاة ملايين الاصطدامات العشوائية. لا يستغرق نزع شظية ضئيلة للغاية سوى جزء من الثانية، في حين أن جعل الحصاة ناعمة الملمس يتطلب أعوامًا من التآكل البطيء. إن الشاطئ، حسب الزمن الجيولوجي، مؤقت، إذ لن يدوم إلا إذا كان تلقيه الجديد للحصى

والرمال أكبر مما يفقده منها عند انجرافها إلى البحر. وعلى مرّ الشهور والسنين، تتزحزح الرمال إلى البحر ثم تعود مرة أخرى كاستجابة للمحيط. نحب شواطئنا ذات المد والجزر لأننا تحديدًا نرى الانحسار والتدفق يعيد تشكيل الرمال مرتين في اليوم، كما لو أن لوح الشاطئ الصخري قد مُسِح ليصبح شديد النظافة، ونجد في بساطة الرمال الناعمة الجديدة أمرًا مرضيًا، لكن هذا التجديد يخفي في طيّاته التحولات التي تجري على مر العقود إثر نمو الخط الساحلي وتقلصه من أمامنا.

تزخر الحياة في أحواض الصخر بالتغيير، وقد تأقلمت بمرور الحقب الزمنية صعودًا وجفافًا، وتتناوب عليها دورات الانغمار الكامل. ومع أن نظرة عابرة على حوض صخري تدل على انطباع بوجود ما يشبه معرضًا للتحف من وراء زجاج، إلا أن معركة شرسة تندلع في كل حوض على الموارد المتوفرة، والموارد المعروضة في النهاية وببساطة كبيرة هي الحصول على قطرات الطاقة التي ترشح من بين ثنايا نظام الأرض، أو الاستفادة من الفرصة لجمع وحدات البناء الجزيئية المطلوبة لتأسيس حياة. ولا يجسد عَرَضية الحياة ووقتيتها شيء آخر كما يجسدها الشاطئ، وتزدهر الأحواض الصخرية عندما تتوفر الطاقة والغذاء لحفظ الحياة. وعند نضوب الموارد تجد الحياة في أماكن أخرى. تتطور الأنواع من خلال تغيير استخدامها لصندوق الأدوات الفيزيائي المتاح لها بطفرة وراثية بعد الأخرى. وسواء أكانت الأنواع الحية تحصد الطاقة أم تدور فيما حولها أم تتواصل أم تتزايد، فإنها جميعًا تستخدم المبادئ ذاتها بأساليب مختلفة.

تشق الطاقة طريقها، لكن الأرض ذاتها لا تنفك عن إعادة تدوير مكوناتها باستمرار. تقريبًا كل الألمنيوم والكربون والذهب التي كوّنت كوكبنا كانت موجودة لمليارات السنين، وقد تحولت في أثناء ذلك من شكل إلى آخر. قد يبدو بعد كل هذه الفترة الطويلة أن هذه المواد قد اضطربت واختلطت معًا فيما يشبه حساء أرضيًا ضخمًا، لكن العمليات الفيزيائية والكيميائية الجارية من حولنا تعمل باستمرار على فرز محتويات كل كومة بحيث تتجمع في جيوب الذرات المتشابهة معًا. تسمح الجاذبية للسوائل بالتسرب من الأجسام الصلبة المسامية، فيرشح ذلك الماء إلى التربة لينضم إلى المياه الجوفية في الوقت الذي تبقى التربة حيث هي. عندما تعيش وتموت المخلوقات البحرية الصغيرة التي تعيش على الكالسيوم على سطح المحيط، تأخذها الجاذبية إلى الأسفل لتنجرف نحو قاع المحيط، وهذه المقابر البحرية الشاسعة التي تتكوّن أحيانًا في البحار الضحلة إنما تنضغط وتتحوّل،

وتصبح أحجارًا كلسية بيضاء مميزة. وتتشكل رواسب الملح بسبب تبخر جزيئات الماء بسهولة لتمسي غازًا عندما تتزود بمزيد من الطاقة التي لا يحصل الملح عليها. أما الحمم التي تخرج من الحواف البركانية في وسط المحيط فهي أكثف من الماء بكثير، ولذلك تبقى في قاع المحيط وتبني قشرة جديدة. وتقطف الحياة ذاتها المواد والاحتياجات بلا انقطاع من العالم حولها، فتعمل على إعادة تشكيلها وإعادة تنظيمها ثم تترك الفتات والبقايا لإعادة استخدامها عندما تموت.

ننظر في ليلة مظلمة عاليًا نحو السماء لنرى موجات انتقلت عبر نظامنا الشمسي أو مجرتنا أو الكون لتصل إلى عيوننا. ظلت موجات الضوء لآلاف السنين الرابط الوحيد لنا ببقية الكون، وهي السبب الوحيد الذي جعلنا ندرك احتمال وجود أي شيء هناك. بدأنا قبل عقدين بملاحظة تدفقات رفيعة تصل إلينا من المادة: «نيوترينو» والأشعة الكونية. ثم ظهرت الموجات الثقالية ، والطريقة الثالثة فقط هي ما بحوزتنا للاتصال ببقية الكون. لقد تأكد في سنة ٢٠١٦ أن أحداثًا فلكية هائلة كبروز الثقوب السوداء قد أرسلت موجات على شكل تموجات في الفضاء ذاته. كانت الموجات الثقالية وما زالت تمر من بيننا جميعًا طوال حياتنا، ونحن على وشك اكتشاف ما فاتنا من أمور. تحبك الموجات الثقالية والضوئية التي تنطلق بسرعة عبر كوكبنا نسيج لوحة تطريز ثرية تسمح لنا برسم خريطة لكوننا الذي نعيش فيه، ثم نضيف فيها سهمًا نكتب فيه عبارة: «نحن هنا».

لكن في يوم عادي من أيام الحياة على الأرض ثمة اعتبارات عاجلة أخرى؛ الوقوف قرب البيت ومتابعة أحداث العالم وشواهدها تمر ما هو إلا تذكير بضخامة المنظومة الكبرى التي نحن جزء منها. إنما نحن قطعة صغيرة من الحياة التي تحافظ على سريان المنظومة حسب تكوينها الراهن، فعندما ظهر الإنسان الأول (هومو سيبيانز) لم يتمتع كل كائن بشري سوى بمنظومتين حافظتين للحياة؛ الجسم والكوكب. لكن الآن توجد منظومة ثالثة.

لقد تعاقبت على كوكبنا كائنات حية عديدة، لكن تمكّن نوع واحد منها فقط في غضون آلاف السنين القليلة الماضية، بكل ما أوتي من إدراك ومعرفة، من إعادة بناء بيئته لتتلاءم مع ظروف حياته ورفاهيته. يكاد يتمثل ذلك النوع بكائن حي لا سواه، وشبكة متمددة بامتداد الكوكب، ومكوّنة من الروابط المتداخلة بين وعي كل فرد وآخر. ويعتمد كل فرد منهم اعتمادًا شبه تام على الآخرين في المنظومة من أجل البقاء على قيد الحياة، لكنه يقدّم مع ذلك مساهمته الخاصة به. ويعّد فهمنا

لقوانين الفيزياء أحد الأركان التي تحافظ على أسس مجتمعاتنا، وما كان لنا أن نتدبر أمورًا مثل المواصلات أو إدارة الموارد أو الاتصالات أو اتخاذ القرارات من دون تلك القوانين. لقد حقق العلم والتقدم التقني أعظم الإنجازات البشرية الجمعية؛ ألا وهي الحضارة.

الحضارة

شمعة وكتاب... إنهما مصدرا طاقة ومعلومات متنقلان ومحمولان، وقد توفرَا حسب الحاجة إليهما، وتمتعا بإمكانية الديمومة لقرون عدة. إنهما بمنزلة الخيوط التي تطرّز الحياة الإنسانية وتخيطها بصورة متكاملة لبناء شي أعظم؛ مجتمع تعاوني يجتهد دائمًا بالبناء على عمل الجيل السابق. لا مفر من تدفق الطاقة في شرايين حضارتنا، لكي تُحفظ الشمعة وتُخزّن إلى الأبد، لكنها لا تُستخدم سوى مرة وحيدة. تتراكم المعرفة، فيحفّز كتابٌ واحدٌ عقولًا كثيرةً. كانت الشموع والكتب موجودة قبل ألفي عام وما زالت الشموع والكتب موجودة الآن، إنهما من التقنيات البسيطة، لكن فوائدهما لا تزول، لقد بنينا العالم الحديث من خلال تخزين الطاقة ومشاركة المعلومات حيال ما يجب أن نفعل بهذه الحداثة.

إننا نقرن الحضارات بالمدن، لكن تأسيسها دائمًا ما يحدث في الحقول الزراعية، ويتطلب إنشاء الحضارات الطاقة للبناء والاكتشاف، والمحاولة والفشل والمحاولة من جديد، فكان حتمًا على البشر توجيه النباتات لحصد الطاقة الشمسية لكي يتوفر وقود لمجهوداتهم. يستطيع البشر تحريك التربة والماء والبذور، لكننا نريد من النباتات تحويل موجات الضوء إلى سكر، وأن تعلمنا كيف نضع هذا السد الأخضر في مكانه الصحيح من أجل تحويل جزء ضئيل من سيل الطاقة الشمسية العارم، وقد جنينا الغنائم من ذلك. وهذه الطاقة المتحوّلة مؤقتًا، على إثر تقاطرها في أنحاء منظومة الأرض، زودتنا وحيواناتنا بالغذاء وأمدتنا بالسعة والأهلية لتغيير عالمنا.

نعتقد أننا نعيش في مجتمع حديث، لكن هذا لا يصح إلا جزئيًا فقط، إذ نعتمد على بنية تحتية أنشأتها أجيال سابقة، بعضها بُني قبل عقود، وبعضها الآخر قبل قرون، وأخرى بُنيت قبل آلاف السنين. وما زالت تلك الطرق والبنايات والقنوات المائية مفيدة لكونها مسالك تربط الأجزاء المتباعدة والمختلفة في المجتمع. يجلب التعاون والتجارة منافع كثيرة، وتمنح هذه الشبكات كل فرد من الناس سبيلًا لما يتجاوز قواه الفردية وما يمكن أن يجلبه له مستوى ذكائه.

إن المدينة أشبه بغابة كثيفة من المباني، لكلٍ منها وظيفة وتصميم مختلفان، لكن تجري من تحتها جميعًا شبكة عنكبوتية ضخمة من الكابلات النحاسية السميكة. وتتفرع الأشكال اللولبية لكابلات النحاس وتسري في أنحاء كل بناية، ثم تتفرع مرة أخرى وهي مخفية عن الأنظار داخل الجدران والأرضيات إلى أن يصبح طرف من أفرعها مرئيًا عبر كل منفذ تزود بالكهرباء. وعند تركيب أي قابس فيه، تكتمل حلقة دائرية وتمسي الإليكترونات حرة الحركة حولها، لتوصل التفريعات الخارجية مع القادم، وتدمجه في عودته إلى البناء. لو تسنى لنا رؤية الكابلات فقط من دون المدينة لرأينا شرايين الحياة الحديثة وهي تغذينا بالطاقة من محطات الطاقة الضخمة القابعة في أماكن أخرى. تمتد الشبكة عبر أراضي كل بلد لتكوّن شبكة معدنية من المسارات المتصلة التي تربط مصادر طاقة كبيرة، ولها قدرة على تغذية شاملة لذلك الكائن الضخم. إننا محاطون بإليكترونات منقادة تمتثل لأوامرنا.

هناك شبكات أخرى مغطاة فوق شبكة الطاقة الكهربائية، وتصل إلى المباني التي نعيش فيها ونحتاجها لحياتنا. تمتلك الأرض دورة مائية تمتد لجميع أنحاء الكوكب، فتربط المحيطات بالأمطار والأنهار والمياه الجوفية. توفر الشمس الطاقة لتبخير الماء وتحريكه عبر الغلاف الجوي ثم تجعله يترسب في مكان آخر. كما أن البشر يبنون تحويلات محلية، وهي عملية تحويل المياه من الدورة الطبيعية وضخها عبر أنحاء الحياة المدنيّة قبل إطلاقه مرة أخرى في الأرض. ويُحجز المطر الذي جُمع في خزان، ويُمنع من الرضوخ المباشر لنداء الجاذبية بالتوجه للأنهار ثم المحيط. وتوفر الإليكترونات الطاقة للمضخات التي ترسل الماء عبر أنابيب يبلغ قطرها مترًا تقريبًا من الخزان ليتفرع ويتفرع مع انتقاله لطرقنا ومبانينا، وليصل أخيرًا إلى حنفياتنا. ويعود عندما ننتهي من استخدامه إلى المجاري المائية مرورًا بأنابيب يتوسع حجمها تدريجيًا عندما تتجمع في رحلتها نحو محطة معالجة المياه أو النهر. عندما نفتح حنفية فإننا نرى طرفًا من الشبكة، مجرد حلقة صغيرة في آلة عملاقة، ثم يغيب الماء عن أبصارنا لينزوي في الأنفاق المخفية. تحافظ الجاذبية عليه ملجومًا، وطالما نقوم بالعمل التمهيدي بتصعيده للأعلى ونكرس الطاقة لإبعاد الماء عن الاتزان، فإن الجاذبية دائمًا ما تتولى توجيه التدفق الصاعد نحو الأسفل مرة أخرى. يقع المصب بالضبط في المكان الذي تختفي فيه مؤقتًا مقاومة الجاذبية.

المدينة هي المكان الذي تُضغط فيه هذه الشبكات معًا ومع أخرى غيرها، لأن البشر في هذه الأماكن محشورون معًا، باعتمادهم على تلك الشبكات ليمارسوا حياة طبيعية. وثمة شبكات أخرى مُغطاة في مشهد المدينة المألوف؛ أنظمة توزيع الطعام، والمواصلات، والتجارة البشرية، للمشاركة بالموارد. وهذه هي الشبكات التي يمكن رؤيتها إذا عرف المرء أين يوجّه نظره على وجه التحديد.

جسّدت النار المغامرة البشرية الأولى للوصول إلى الضوء الاصطناعي، فبدلًا من الاعتماد على موجات الضوء القادمة من الشمس، تعلمنا صنع ضوئنا الخاص بنا. وكانت الشموع تعني أن بمقدورنا الرؤية حتى عندما يدور الجانب الذي نسكنه من الأرض ليبتعد عن الشمس. قبل مئة وخمسين عامًا كانت موجات الضوء التي تنتج من احتراق الشموع والخشب والفحم والزيت هي ما يضيء ليل المدينة. أما في عصرنا الراهن فتمتلِئ السماء بضوء لا نستطيع رؤيته، ليتلألأ طول النهار والليل. لو كان لنا قدرة على رؤية موجات الراديو لرأينا أن كوكبنا لم يحل عليه الظلام بهذه الأطوال الموجية منذ القرن السالف. غير أن تلك الموجات الجديدة لا تكتفي بالقيام بدور الإضاءة، فموجات الراديو والبث التلفازي وإشارات الواي فاي والهواتف تشكّل مجتمعة شبكة معلومات محكمة التنسيق، وتتموّج باستمرار عبر ما يحيط بنا وعبر أنفسنا. وأي شخص يقف وسط حضارتنا المعاصرة حاملًا معه جهازًا إلكترونيًا قادرًا على ضبط موالفة إشارته إلى النوع الصحيح من الموجات بدقة، سيتاح له فورًا الدخول إلى مظاهر مرئية وصوتية كثيرة، مثل بث الأخبار المرئي وتوقعات الأرصاد الجوية وبرامج تلفزيون الواقع ومراقبة الملاحة الجوية ولاسلكي الهواة وأصوات الأهل الأصدقاء. تتدفق الموجات من حولنا طوال الوقت، وتتجسد الأعجوبة في زماننا بسهولة الاستماع للموجات والإضافة إليها. ويربط تدفق المعلومات أوصال عالمنا ويقرب أجزاءه من بعضها. يستطيع الفلاحون التخطيط لعمليات الحصد بناءً على احتياجات الأسواق المركزية خلال أسبوع واحد، وتصل أنباء الكوارث الطبيعية إلى جميع أنحاء المعمورة فوريًا وعلى الهواء مباشرةً، وتستطيع الطائرات تغيير خط سيرها تجنبًا لسوء الأحوال الجوية المرصودة سلفًا، ويمكن تأجيل موعد الذهاب إلى المحلات التجارية بسبب معرفة مسبقة لتجمع سحب مطرية في غضون عشر دقائق. ومثل هذا النظام له نفع وجدوى عظيمة لأن الموجات ينسقها بشر يتعاونون مع بعضهم، ولأن نوعنا من الكائنات الحية اتفق أفراده على قواعد عالمية محددة لبعض الموجات، وقواعد

وطنية لموجات أخرى. كانت الموجات متوفرة في معظم التاريخ البشري، لكن لم تكن هناك شبكات مثل ما هي عليه الآن، ولم يبنِ البشر شبكة معلومات مرتكزة على الموجات، التي نعتقد ألا غنى لنا عنها، إلا في غضون الأجيال الخمسة السالفة.

قيّدت عوامل الجغرافيا، من الحرارة والبرد، الموارد البشرية في الماضي، وأَفْقَرتها أحيانًا. فإذا تعرضّت الجزيئات المحيطة بنا إلى طاقة حرارة أكثر من اللزوم أو أقل، فإن الجزيئات المكونة لأجسامنا ستتبعها. ولو اختل التوازن الدقيق بين النشاط والركود الجزيئي في أجسامنا سنبدأ بالمعاناة، لكن تلك القيود الجغرافية قد زال معظمها. إننا نبني المباني وممرات المشي والسيارات والحواجز، ونبدّل محتوى كل بنيان ليتوفر مستوى مناسب من الطاقة لكي نتمتع بالراحة. وتمنحنا مكيفات الهواء في دبي، والتدفئة المركزية في ألاسكا، ما يشبه الفقاعات الكبيرة القابلة للسكن التي لم يوجد مثلها من قبل. وننسى مشقة العالم الحقيقي، ونعتقد أن فقاعتنا التي تصوننا باتت شيئًا حتميًا ومفروغًا منه. ما تزال فكرة السكن البشري على كواكب أخرى بعيدة المنال، بيد أن البشر طوروا تقنيات حديثة لجعل مناطق أخرى كثيرة من كوكبنا قابلة للسكن. والمبدأ هو ذاته؛ التحكم ببيئة ما إلى أن تصبح ملائمة لشروط نجاتنا الصارمة، فالتزود بالماء ووحدات البناء الجزيئية والطاقة لا بد أن تكون جميعها مناسبة وبمقادير مضبوطة، وعندما نبني فقاعة سنبني أخرى، فنزحف عبر أرجاء كوكبنا ونمدد معنا شبكات نجاتنا حيثما ذهبنا.

نواجه التحديات في الوقت الذي تنمو فيه حضارتنا. كلما زاد عدد السكان، ازداد عدد الموارد والمساحة المطلوبة لدعم احتياجاتنا الأساسية. لقد اكتشفنا أن استخدامنا لكميات الوقود التي زودت الثورة الصناعية والنمو الكبير لدول العالم النامية بالطاقة قد تحقق بثمن باهظ، وفي الوقت ذاته الذي زرع فيه البشر النباتات لحصد طاقة الشمس وبناء خزان من الطاقة الخضراء التي أمكن التحكم بها عند الحاجة، جاءنا معظم الطاقة من مصدر آخر. امتلكت الأرض مسبقًا خزان طاقة مصدره الطاقة الشمسية، وهو ما جمعته كرصيد في جوفها على مدار مئات ملايين السنين، وقد غرفنا من معينه. وعلى مر الدهور، كان جزء يسير من النباتات التي حاصرت طاقة الشمس قد حوصرت هي بذاتها ودُفنت وضُغطت في أعماق الأرض. وبنى التراكم البطيء للطاقة الشمسية الملتقطة مخزنًا ضخمًا تحت سطح الأرض، ومحجوبًا بأمان، طالما ظل تدفق الطاقة الشمسية من وإلى كوكبنا قائمًا

على قدم وساق على السطح. نطلق على هذه المخازن القديمة للطاقة «الوقود الأحفوري»، ويسهل إطلاق هذه الطاقة وتحريكها للعمل، فاستخدام الطاقة ليس مشكلة بحد ذاته، فهي مجرد طاقة شمسية مخزونة وتحررت لتعود للكون مرة أخرى، لكن معرفة ما الذي يجب فعله بهذه الحزمة هو الكابوس بعينه. تتلقى النباتات ثاني أكسيد الكربون لكي تنمو، وما إن تتحرر طاقتها من الوقود حتى يعاد تشكيل ثاني أكسيد الكربون ليرجع إلى الغلاف الجوي مرة أخرى، وتنساب هذه الجزيئات الغازية خارجًا إلى الهواء فتغير طريقة عبور الموجات في الغلاف الجوي، ونتيجة ذلك هي أن الكوكب أصبح بالمجمل خزانًا أكبر لطاقة الشمس نوعًا ما. وعقب الاستهلاك السريع لمخازن الطاقة واستنفادها عبر ملايين السنين، عمد البشر إلى تسخين الكوكب بمقدار طفيف، لذا سيتطلب تعلّم كيفية التعامل مع حالة الاتزان الجديدة لكوكبنا إبداعًا فائقًا.

لكن البشر مبدعون حقًا، إذ أتاح التقدم الراهن في الإدراك البشري لمجالات العلم والطب والهندسة والثقافة قطف ثمار تلك الشبكة غير المرئية من الموجات من حولنا، وانتفعنا من الجهود التي أسهمت فيها الأجيال السالفة، وعلينا أن نعي ذلك في كل مرة نستخدم فيها أي وجه من أوجه تلك الشبكة المعلوماتية.

برزت أعظم مظاهر التقدم من خلال اكتشاف كمية المساحة المتاحة للعمل بها في حال اللعب على مقاييس الأحجام غير البشرية، فالجسم البشري والمنشآت التي تلائمه لن يغيرا من حجمهما، فنحن نتألّف من نظام معقد وكبير ونحتاج لهذا القدر الكبير من المساحة لاحتوائه. لن تتغير أحجام أسرّة النوم والطاولات والكراسي والطعام لأن كلًا منا يعيش في هذا الجسم، لكن مع تعلمنا كيفية التحكم بنطاق ما هو صغير وتقليص منظورنا بالتبعية، يتعلم البشر أيضًا بناء مصانع هائلة، لكنها من الصغر الشديد بحيث يصعب على أجسامنا رؤيتها. فالوقت المطلوب لإنجاز أي مهمة يتقلص بتقلص الحجم، وبالتالي يمكن تنفيذ مليارات العمليات في كل ثانية. أما الكهرباء فتتدفق بسهولة أكبر على هذه المقاييس الضئيلة الحجم.

جهاز الحاسوب على سبيل المثال آلة جمع إليكترونية ومصنوعة من مكوّنات ذات مقاييس نانوية ، وتبدو الحواسيب صغيرة في نظرنا، لكن بالمقارنة مع الذرات التي تتركب منها، فهي من أكبر الأعاجيب المعمارية، بما تحتويه من وظائف يساعد تكوينها على أدائه. والدهشة من السحر الذي تشكّله الحواسيب يمثل في حقيقته صدمة بقبول إمكانية حصول الأشياء بمقاييس زمن وحجم مختلفين. وما

انفكت حتى الآن هذه المصانع الحاسوبية العملاقة الضئيلة تتبوأ مكانةً أساسيةً بما تحتويه من أدوات للتحكم بالعالم، وسيزداد تكاملها وتعمقها في حضارتنا مع تعاقب الزمن. تقتضي الحضارة المكتظة والمزدحمة مزيدًا من القرارات الفعّالة، أي اتخاذ قرارات بوقت أسرع، وتدفقًا أسرع للمعلومات من أجل تنسيق أدوات النظام الحسّاسة كلها، ويمكّن من هذا المسعى استخدام مقاييس حجم مختلفة عن مقاييسنا.

إن نوعنا البشري مقيّد حاليًا بهذا الكوكب ومشارفه القريبة منه، لكننا سبق أن تطلعنا خارجًا بأنظارنا نحو النجوم منذ أجيال بعيدة. أما الآن، ولأول مرة في تاريخ الحضارة البشرية، أصبح بمقدورنا النظر لأنفسنا. أضحت أقمار الرصد الصناعية ومثيلاتها الخاصة بالاتصالات محتشدة حول كوكبنا لتربط بيننا، وتمكّننا من مراقبة الكرة الأرضية وهي تدور على نفسها من تحتنا. وأمست من ذاك المكان العلوي بصمة حضارتنا مرئية لكل ناظر؛ مدن برّاقة في المساء، هواء ساخن حول المدن في الأماكن الباردة، واللون المتغيّر للأرض بسبب الزراعة. ولا تصلح أي من هذه الأقمار المدارية لتكون فقاعة تناسب معيشة البشر سوى واحدة؛ إنها محطة الفضاء الدولية.

إن حضارتنا تمتد فعلًا نحو الفضاء، لكن بعدد محدود. يمكن أن يمثّل بقيةَ البشرية في تلك المحطة عددٌ لا يتجاوز أقصاه عشرة أشخاص، كل على حدة، ليتمتعوا بدورة كاملة حول الأرض كل اثنتين وتسعين دقيقة. لقد أدرك رواد ورائدات الفضاء الذين شاهدوا كوكبهم من ذلك المدار أنهم يتشاركون بنظرة عن حضارتنا، لن يتمكنوا من إخبار بقية البشرية بفحواها كلها، لكن ما يحسب لصالحهم أنهم على الأقل حاولوا.

تضمحل علامات حضارتنا عندما نتجاوز الأقمار الصناعية نحو الأعلى ونتخطى الدرع المغناطيسي الذي يحمي كوكبنا من الأشعة الكونية. هنا في الفضاء الفسيح لا أثر لما هو «أعلى» وما هو «أسفل»، ولن تدق هنا ساعة البندول لعدم وجود جاذبية تشد هذا البندول، وتعني بساطة الأشياء في هذا المكان أن كل شيء يحدث إما بسرعة استثنائية أو ببطء استثنائي حسب المعايير البشرية. تمد التفاعلات النووية الشمس بطاقتها، لكن الشمس لا تتغير إلا ببطء شديد وعلى مدار مليارات السنين. تتفاعل الذرات الضئيلة، والنتائج تتجلى بحجم كوكب أو قمر أو نظام شمسي. وتقع حضارتنا الفوضوية المعقدة المنعكسة أصلًا عن عالمنا الفوضوي المعقد في وسط مقاييس الزمن والحجم.

إننا استثناء في الكون المعلوم.

يتطلع البشر عاليًا نحو الفضاء، وربما هناك شيء في الفضاء ينظر إلينا من جانبه. يظل الضوء رابطنا الأساسي لكل شيء لا ينتمي لكوكبنا، وتربطنا ببقية الكون تلك التحولّات الجزيئية التي تنجم عن وصول ضوء نجمي لشبكية عيوننا. ها نحن هنا، إذ نعيش على الحد الفاصل بين الكون والأرض بكل ما نكتنزه من جمال وتعقيد وطبقة حسّاسة وغشاء نحيف يغطي كوكبًا صخريًا صغيرًا. ها نحن هنا، إذ تعمل فيزياء الكون على قولبتنا كنتاج لأنظمة حفظ الحياة الثلاثة التي نعيش في ظلها.

ها أنا ذا أقف على مشارف بيتي وأنظر عاليًا نحو السماء مع تجمّع السحب لتحجب عن عيني بقية نواحي الكون. ها أنا ذا إنسانة من العصر الحديث وأحمل بيدي كوبًا مصنوعًا من الأرض، وأتأمل في التعقيدات التي يكتنفها الكون لأن بمقدوري فعل ذلك. تظهر الأنماط من حولي في كل مكان وبوسعي أن ألمسها بنفسي. أنظر في كوب الشاب بيدي وأرى سائلًا يلتف ويدور، ثم أعيد النظر مرة أخرى فأرى شيئًا مختلفًا، إذ ينعكس من سطح السائل نمط خلاب وجميل وبرّاق، إنها صورة معكوسة للسماء فوق رأسي، أما ما أراه في كوب الشاي الذي أمسكه، فإنه العاصفة.

المراجع والمصادر

الفصل الأول: الفشار والصواريخ

• Ian Inkster, History of Technology, vol. 25 (London, Bloomsbury, 2010),p. 143

• ‘Elephant anatomy: respiratory system’, Elephants Forever, http://www.elephantsforever.co.za/elephants-respiratory-system.html .VrSVgfHdhO8

• ‘Elephant anatomy’, Animal Corner, https://animalcorner.co.uk/elephant-anatomy/ trunks

• ‘The trunk’, Elephant Information Repository, http://elephant.elehost.com/About_Elephants/Anatomy/The_Trunk/the_trunk.html

• John H. Lienhard, How Invention Begins: Echoes of Old Voices in the Rise of New Machines (New York, Oxford University Press, 2006(

• ‘Magdeburger Halbkugeln mit Luftpumpe von Otto von Guericke’,Deutsches Museum, http://www.deutschesmuseum.de/sammlungen/meisterwerke/meisterwerkei/halbkugel/?sword_list[]=magdeburg &no_cache=1

• ‘Bluebell Railway: preserved steam trains running through the heart of Sussex’, http://www.bluebell-railway.co.uk/

• ‘Rocket post: that’s one small step for mail . . .’, Post&Parcel, http://

• postandparcel.info/33442/indepth/

• rocket-post-that%E2%80%99s-one-small-step-for-mail%E2%80%A6/

• ‘Rocket post reality’, Isle of Harris website, http://www.isleofharris.com/discover-harris/past-and-present/rocket-post-reality
• Christopher Turner, ‘Letter bombs’, Cabinet Magazine, no. 23, 2006
• ‘A sketch diagram of Zucker’s rocket as used on Scarp, July 1934 (POST 33/5130)’, Bristol Postal Museum and Archive

الفصل الثاني: ما طار طير وارتفع، إلا كما طار وقع

• D. Driss-Ecole, A. Lefranc and G. Perbal, ‘A polarized cell: the rootstatocyte,Physiologia Plantarum, 118 (3), July 2003, pp. 305–12
• George Smith,Newton’s Philosophiae Naturalis Principia Mathematica , in Edward N. Zalta, ed., Stanford Encyclopedia of Philosophy, Winter 2008 edn, http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/newton-principia/
• Celia K. Churchill, Diarmaid O Foighil, Ellen E. Strong and Adriaan
• Gittenberger,‘Females floated first in bubble-rafting snails’,
• Current Biology, 21 , Oct. 2011, pp. R802 R803,http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2011.08.011
• Zixue Su, Wuzong Zhou and Yang Zhang, ‘New insight into the soot nanoparticles in a candle flame’, Chemical Communications, 47 , March 2011, pp. 4700–2, http://dx.doi.org/10.1039/C0CC05785A

الفصل الثالث: كلٌّ صغيرٍ جميلٌ

• Peter J. Yunker, Tim Still, Matthew A. Lohr and A. G. Yodh, ‘Suppression of the coffee-ring effect by shape-dependent capillary interactions’, Nature, 476, 18 Aug. 2011, pp. 308-11, http://dx.doi.org/10.1038/nature10344
• Robert D. Deegan, Olgica Bakajin, Todd F. Dupont, Greb Huber, Sidney R. Nagel and Thomas A. Witten, ‘Capillary flow as the cause of ring stains from dried liquid drops’, Nature, 389, 23 Oct.1997, pp. 827–9,http://dx.doi.org/10.1038/39827
• The whole of the Micrographia is online here: https://ebooks.adelaide.edu.au/h/hooke/robert/micrographia/contents.html
• ‘Homogenization of milk and milk products’, University of Guelph
• Food Academy, https://www.uoguelph.ca/foodscience/book-page/homogenization-milk-and-milk-products
• ‘Blue tits and milk bottle tops’, British Bird Lovers, http://www.britishbirdlovers.co.uk/articles/blue-tits-and-milk-bottle-tops
• Rolf Jost, ‘Milk and dairy products’, in Ullman’s Encyclopedia of
• Industrial Chemistry (New York and Chichester, Wiley, 2007),
http://dx.doi.org/10.1002/14356007.a16_589.pub3
• Aaron Fernstrom and Michael Goldblatt, ‘Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases’,

Journal of Pathogens, 2013, article ID 493960, http://dx.doi.org/10.1155/2013/493960

• ‘Ebola in the air: what science says about how the virus spreads’, npr, http://www.npr.org/sections/goatsandsoda/2014/12/01/364749313/ebolainthe-air-what-science-says-about-how-the-virus-spreads

• Kevin Loria, ‘Why Ebola probably won’t go airborne’, Business

• Insider, 6 Oct. 2014, http://www.businessinsider.com/will-ebolagoairborne-201410?IR=T

• N. I. Stilianakis and Y. Drossinos, ‘Dynamics of infectious disease transmission by inhalable respiratory droplets’, Journal of the Royal Society Interface, 7 , 2010, pp. 1355–66, http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2010.0026

• I. Eames, J. W. Tang, Y. Li and P. Wilson, ‘Airborne transmission of disease in hospitals’, Journal of the Royal Society Interface, 6, Oct. 2009, pp. S697–S702, http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2009.0407.focus

• ‘TB rises in UK and London’, NHS Choices, http://www.nhs.uk/news/2010/12December/Pages/tbtuberculosis-cases-rise-londonuk.aspx

• World Health Organization, Tuberculosis factsheet 104, 2016, http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs104/en/

• A. Sakula, ‘Robert Koch: centenary of the discovery of the tubercle bacillus, 1882’, Thorax, 37 (4), 1982, pp. 246– 51, http://dx.doi.org/10.1136/thx.37.4.246
• Nobel Prize website about Robert Koch, http://www.nobelprize.org/
• educational/medicine/tuberculosis/readmore.html
• Lydia Bourouiba, Eline Dehandschoewercker and John W. M. Bush,
• ‘Violent expiratory events: on coughing and sneezing’, Journal of Fluid Mechanics, 745, 2014, pp. 537–63
• ‘Improved data reveals higher global burden of tuberculosis’, World Health Organization, 22 Oct. 2014, http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2014/global-tuberculosis-report/en/
• Stephen McCarthy, ‘Agnes Pockels’, 175 faces of chemistry, Nov. 2014, http://www.rsc.org/diversity/175-faces/all-faces/
• agnes-pockels
• ‘Agnes Pockels’, http://cwp.library.ucla.edu/Phase2/Pockels,_Agnes@871234567.html
• Agnes Pockels, ‘Surface tension’, Nature, 43, 12 March 1891,pp. 437-9
• Simon Schaffer, ‘A science whose business is bursting: soap bubbles as commodities in classical physics’, in Lorraine Daston, ed., Things that Talk: Object Lessons from Art and Science (Cambridge, Mass.,MIT Press, 2004)

• Adam Gabbatt, 'Dripless teapots', Guardian, Food and drink news blog, 29 Oct. 2009, http://www.theguardian.com/lifeandstyle/blog/2009/oct/29/teapot-drips-solution

• Martin Chaplin, 'Cellulose', http://www1.lsbu.ac.uk/water/cellulose.html

• D. Klemm, B. Heublein, HP. Fink and A. Bohn, 'Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material', Angewandte Chemie, international edn, 44, 2005, pp. 3358–93, http://dx.doi.org/10.1002/anie.200460587

• Alexander A. Myburg, Simcha Lev-Yadun and Ronald R. Sederoff,'Xylem structure and function', eLS, Oct. 2013, http://dx.doi.org/ 10.1002/9780470015902.a0001302.pub2

• Michael Tennesen, 'Clearing and present danger? Fog that nourishes California redwoods is declining', Scientific American, 9 Dec. 2010

• James A. Johnstone and Todd E. Dawson, 'Climatic context and ecological implications of summer fog decline in the coast redwood region', Proceedings of the National Academy of Sciences,107 , 2010, pp. 4533–9

• Holly A. Ewing et al., 'Fog water and ecosystem function:

• heterogeneity in a California redwood forest', Ecosystems, 12 (3), April 2009, pp. 417–33

• S. S. O. Burgess, J. Pittermann and T. E. Dawson, 'Hydraulic efficiency and safety of branch xylem

increases with height in Sequoia sempervirens (D. Don) crowns', Plant, Cell and Environment, 29, 2006, pp. 229–39,http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01415.x
• George W. Koch, Stephen C. Sillett, Gregory M. Jennings and Stephen D. Davis, 'The limits to tree height', Nature, 428, 22 April 2004, pp. 851–4, http://dx.doi.org/10.1038/nature02417
• Martin Canny, 'Transporting water in plants', American Scientist, 86 (2)), 1998, p. 152, http://dx.doi.org/10.1511/1998.2.152
• John Kosowatz, 'Using microfluidics to diagnose HIV', March 2012, https://www.asme.org/engineering-topics/articles/bioengin eering/using-microfluidicstodiagnose-hiv
• Phil Taylor, 'Go with the flow: lab on a chip devices', 10 Oct. 2014,
• http://www.pmlive.com/pharma_news/go_with_the_flow_labonachip_devices_605227
• Eric K. Sackmann, Anna L. Fulton and David J. Beebe, 'The present
• and future role of microfluidics in biomedical research', Nature,507.7491, 2014, pp. 181–9
• 'Low-cost diagnostics and tools for global health', Whitesides Group Research, http://gmwgroup.harvard.edu/research/index.php?page=24

الفصل الرابع: لحظة من الزمن

• Eric Lauga and A. E. Hosoi, ‘Tuning gastropod locomotion: modeling the influence of mucus rheology on the cost of crawling’, Physics of Fluids (1994–present), 18 , 2006, 113102
• Janice H. Lai et al., ‘The mechanics of the adhesive locomotion of terrestrial gastropods’, Journal of Experimental Biology, 213 , 2010, pp. 3920-33
• Mark W. Denny, ‘Mechanical properties of pedal mucus and their consequences for gastropod structure and performance’, American Zoologist, 24 (1), 1984, pp. 23–36
• Neil J. Shirtcliffe, Glen McHale and Michael I. Newton, ‘Wet adhesion and adhesive locomotion of snails on anti-adhesive non-wetting surfaces’, PloS one, 7 (5), 2012, p. e36983
• H. C. Mayer and R. Krechetnikov, ‘Walking with coffee: why does it spill?’, Physical Review E, 85 (4), 2012, 046117
• Marc Reisner, Cadillac Desert: The American West and its Disappearing
• Water, rev. pb edn (New York, Penguin, 1993)
• B. J. Frost, ‘The optokinetic basis of head-bobbing in the pigeon’, Journal of Experimental Biology, 74, 1978, pp. 187–95
• ‘Engineering aspects of the September 19, 1985 Mexico City earthquake’, NBS Building Science series 165, May 1987,

http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=908821
• Daniel Hernandez, ‘The 1985 Mexico City earthquake remembered’,
• Los Angeles Times, 20 Sept. 2010, http://latimesblogs.latimes.com/laplaza/2010/09/earthquake-mexico-city-1985-memorial.html
• William F. Martin, Filipa L. Sousa and Nick Lane, ‘Energy at life’s origin’, Science, 344 (6188), 2014, pp. 1092–3
• S. Seager, ‘The future of spectroscopic life detection on exoplanets’, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111 , 2014, pp. 12634–40, http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1304213111
الفصل الخامس: صنع الموجات
• A. A. Michelson and E. W. Morley, ‘On the relative motion of the
• Earth and of the luminiferous ether’, Sidereal Messenger, 6, 1887, pp. 306–10 ,http://adsabs.harvard.edu/full/1887SidM….6..306M
• Sindya N. Bhanoo, ‘Silvery fish elude predators with light-bending’, New York Times, 22 Oct. 2012, http://www.nytimes.com/2012/10/23/science/silvery-fish-elude-predators-with-sleightofreflection.html?_r=0
• Alexis C. Madrigal, ‘You’re eyetoeye with a whale in the ocean: what does it see?’, The Atlantic, 28 March 2013, http://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/03/youre-eyetoeye-274448/

• Leo Peichl, Günther Behrmann and Ronald H. H. Kröger, ‘For whales and seals the ocean is not blue: a visual pigment loss in marine mammals’, European Journal of Neuroscience, 13 (8), 2001,pp. 1520–9
• Jeffry I. Fasick et al., ‘Estimated absorbance spectra of the visual
• pigments of the North Atlantic right whale (Eubalaena glacialis)’, Marine Mammal Science, 27 (4), 2011, pp. E321–E331
• University of Oxford, press pack for Marconi exhibition: https:// www.mhs.ox.ac.uk/marconi/presspack/
• Bill Kovarik, ‘Radio and the Titanic ’, Revolutions in Communication, http://www.environmentalhistory.org/revcomm/features/radio-and-the-titanic/
• RMS Titanic radio page, http://hf.ro/Yannick Gueguen et al., ‘Yes, it turns: experimental evidence of pearl rotation during its formation’, Royal Society Open Science, 2 (7), 2015,150144
الفصل السادس: لماذا لا تصاب أقدام البطة بالبرد
• ‘Molecular dynamics: real-life applications’, http://www.scienceclarified.com/everyday/Real-Life-Physics-Vol2/Molecular-Dynamics-Real-life-applications.html
• ‘Einstein and Brownian motion’, American Physical Society News, 14 (2),Feb. 2005, https://www.aps.org/publications/apsnews/200502/history.cfm

• ‘Back to basics: the science of frying’, http://www.decodingdelicious.com/the-scienceoffrying/
• ‹1000 days in the ice’, National Geographic, 2009, http://ngm.nationalgeographic.com/2009/01/nansen/sides-text/4
• Jing Zhao, Sindee L. Simon and Gregory B. McKenna, ‘Using 20million-year-old
• amber to test the super-Arrhenius behaviour of glass-forming systems’, Nature Communications, 4, 2013, p. 1783
• Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007:
• Working Group I: The Physical Science Basis, IPCC Report 2007, FAQ 5.1: ‘Is sea level rising?’, https://www.ipcc.ch/publications_and_data/Ar4/wg1/en/faq51.html
• Oliver Milman, ‘World’s oceans warming at increasingly faster rate, new study finds’, http://www.theguardian.com/environment/2016/jan/18/world-oceans-warming-faster-rate-new-study-fossil-fuels
• ‘The coldest place in the world’, NASA Science News, 10 Dec. 2013, http://science.nasa.gov/science-news/scienceatnasa/2013/09dec_coldspot/
• ‘Webbed wonders: waterfowl use their feet for much more than just standing and swimming’, http://www.ducks.org/conservation/waterfowl-biology/webbed-wonders/page2

• ‘Temperature regulation and behavior’, https://web.stanford.edu/
group/stanfordbirds/text/essays/Temperature_Regulation.html
• Barbara Krasner-Khait, ‘The impact of refrigeration’, http://www.history-magazine.com/refrig.html
• Simon Jol, Alex Kassianenko, Kaz Wszol and Jan Oggel, ‘Issues in
• time and temperature abuse of refrigerated foods’, Food Safety Magazine, Dec. 2005–Jan.2006, http://www.foodsafetymagazine.com/magazine-archive1/december-2005january-2006/issuesintime-and-temperature-abuseofrefrigerated-foods/
• Alexis C. Madrigal, ‘A journey into our food system’s refrigerated-warehouse archipelago’, The Atlantic, 15 July 2003, http://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/07/a journeyinto-our-food-systems refrigerated-warehouse-archipelago/277790/
الفصل السابع: ملاعق وحلزونات و(سبوتنك)
• Hugh Gladstone, ‘Making tracks: building the Olympic velodrome’, Cycling Weekly, 21 Feb. 2011, http://www.cyclingweekly.co.uk/news/making-tracks-building-the-olympic-velodrome-53916
• Rachel Thomas, ‘How the velodrome found its form’, Plus Magazine, 22 July 2011, https://plus.maths.org/content/how-velodrome-found-its-form

• ‘Determination of the hematocrit value by centrifugation’,
• http://www.hettweb.com/docs/application/Application_Note_Diagnostics_Hematocrit-Determination.pdf
• ‘Astronaut training: centrifuge’, RUS Adventures, http://www.rusadventures.com/tour35.shtml
• ‘Centrifuge’, Yu.A. Gagarin Research and Test Cosmonaut Training Center, http://www.gctc.su/main.php?id=131
• ‘HighG training’, https://en.wikipedia.org/wiki/High-G_training
• Lisa Zyga, ‘The physics of pizza-tossing’, Phys.org, 9 April 2009,
• http://phys.org/news/200904physics-pizza-tossing.html
• Alison Spiegel, ‘Why tossing pizza dough isn’t just for show’, HuffPost Taste, 2 March 2015, http://www.huffingtonpost.com/2015/03/02/toss-pizza-dough_n_6770618.html
• K.C. Liu, J. Friend and L. Yeo, ‘The behavior of bouncing disks and pizza tossing’, EPL (Europhysics Letters), 85 (6), 26 March 2009
• ‘International Space Station’, http://www.nasa.gov/mission_pages/station/expeditions/expedition26/iss_altitude.html
• Eleanor Imster and Deborah Bird, ‘This date in science: launch of Sputnik’, 4 Oct. 2014, http://earthsky.org/space/this-dateinscience-launchofsputnik-october41957

• Roger D. Launius, ‘Sputnik and the origins of the Space Age’, http://history.nasa.gov/sputnik/sputorig.html
• Paul E. Chevedden, The Invention of the Counterweight Trebuchet: A
• Study in Cultural Diffusion, Dumbarton Oaks Papers No. 54, 2000,
• http://www.doaks.org/resources/publications/dumbarton-oaks-papers/dop54/dp54ch4.pdf
• Riccardo Borghi, ‘On the tumbling toast problem’, European Journal of Physics, 33 (5), 1 Aug. 2012
• R. A. J. Matthews, ‘Tumbling toast, Murphy’s Law and the
• fundamental constants’, European Journal of Physics, 16 (4), 1995,
• pp. 172–75, http://dx.doi.org/10.1088/0143-0807/16/4/005
• ‘Dizziness and vertigo’, http://balanceandmobility.com/for-patients/dizziness-and-vertigo/
• Steven Novella, ‘Why isn’t the spinning dancer dizzy?’, Neurologica, 30 Sept. 2013, http://theness.com/neurologicablog/index.php/why-isnt-the-spinning-dancer-dizzy/

الفصل الثامن: عندما تتجاذب المتناقضات

• ‘One penny coin’, http://www.royalmint.com/discover/ukcoins/coin-design-and-specifications/one-penny-coin

• ‘The chaffinch’, http://www.avibirds.com/euhtml/Chaffinch.html
• Dominic Clarke, Heather Whitney, Gregory Sutton and Daniel
• Robert, ‘Detection and learning of floral electric fields by bumblebees’,
• Science,340 (6128)), 5 April 2013, pp. 66–9, http:/dx.doi.org/10.1126/science.1230883
• Sarah A. Corbet, James Beament and D. Eisikowitch, ‘Are electrostatic
• forces involved in pollen transfer?’, Plant, Cell and Environment,5) 2)), 1982, pp. 125–9
• Ed Yong, ‘Bees can sense the electric fields of flowers’, National Geographic ‘Phenomena’ blog, 21 Feb. 2013, http://phenomena.nationalgeographic.com/2013/02/21/bees-can-sense-the-electric-fieldsofflowers/
• John D. Pettigrew, ‘Electroreception in monotremes’, Journal of Experimental Biology, 202 , 1999, pp. 1447–54
• U. Proske, J. E. Gregory and A. Iggo, ‘Sensory receptors in
• monotremes’, Philosophical Transactions of the Royal Society of
• London B: Biological Sciences, 353 (1372), 1998, pp. 1187–98
• ‘Cathode ray tube’, University of Oxford Department of Physics,

http://www2.physics.ox.ac.uk/accelerate/resources/demonstrations/ cathode-ray-tube
- ‘Non-European compasses’, Royal Museums Greenwich, http://www.rmg.co.uk/explore/sea-and-ships/facts/ships-and-seafarers/the-magnetic-compass
- Wynne Parry, ‘Earth’s magnetic field shifts, forcing airport runway change’, LiveScience, 7 Jan. 2011, http://www.livescience.com/9231-earths-magnetic-field-shifts-forcing-airport-runway-change.html
- ‘Wandering of the geomagnetic poles’, National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration, http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/GeomagneticPoles.shtml
- ‘Swarm reveals Earth’s changing magnetism’, European Space
- Agency, 19 June 2014, http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Swarm/Swarm_reveals_Earth_s_changing_magnetism
- ‹David P. Stern, ‘The Great Magnet, the Earth’, 20 Nov. 2003, http://www-spof.gsfc.nasa.gov/earthmag/demagint.htm
- ‘Drummond Hoyle Matthews’, https://www.eeducation.
- psu.edu/
- earth520/content/l2_p11.html
- F. J. Vine and D. H. Matthews, ‘Magnetic anomalies over oceanic ridges’, Nature, 199, 1963, pp. 947–9

• Kenneth Chang, ‘How plate tectonics became accepted science’, New York Times, 15 Jan. 2011

تمّ بحمد الله وتوفيقه